



INSTITUTO LATINO AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)

GEOGRAFIA - BACHARELADO

**VARIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA O CULTIVO DA SOJA
(*GLYCINE MAX*) NO MUNICÍPIO DE FOZ DO IGUAÇU (PR) POR MEIO DO
BALANÇO HÍDRICO, PARA OS PERÍODOS DE 1961-1990 E 1991-2017**

EDIMAR PEREIRA DOS SANTOS JUNIOR

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Latino-Americano de Tecnologia
Infraestrutura e Território como requisito parcial
para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Orientadora: Professora Dr. Marcia Aparecida Procópio da Silva Scheer

Foz do Iguaçu
2018

**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
ARTE, CULTURA E HISTÓRIA
(ILAACH)**

GEOGRAFIA - BACHARELADO

**VARIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA O CULTIVO DA SOJA
(*GLYCINE MAX*) NO MUNICÍPIO DE FOZ DO IGUAÇU (PR) POR MEIO DO
BALANÇO HÍDRICO, PARA OS PERÍODOS DE 1961-1990 E 1991-2017**

EDIMAR PEREIRA DOS SANTOS JUNIOR

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Instituto Latino-Americano de
Tecnologia Infraestrutura e Território como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Geografia.

Orientadora: Prof. Dr Marcia Aparecida Procópio da Silva Scheer

Foz do Iguaçu
Ano

Edimar Pereira dos Santos Junior

**VARIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA PARA O CULTIVO DA SOJA
(*GLYCINE MAX*) NO MUNICÍPIO DE FOZ DO IGUAÇU (PR) POR MEIO DO
BALANÇO HÍDRICO, PARA OS PERÍODOS DE 1961-1990 E 1991-2017**

EDIMAR PEREIRA DOS SANTOS JUNIOR

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Instituto Latino-Americano de
Tecnologia Infraestrutura e Território como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Geografia

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof. Dr. Marcia Aparecida Procópio da Silva Scheer
UNILA

Prof. Dr. José Mauro Palhares
UFAM

Prof. Dr. Samuel fernando Adami
UNILA

Foz do Iguaçu, ____ de _____ de ____.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que sempre me incentivaram e nunca deixaram faltar nada.

À professora Márcia que desde 2016 vem me incentivando e orientando. Sempre apoiando as minhas iniciativas e acreditando nas minhas escolhas.

Ao professor Samuel, pela imensa ajuda em momentos fundamentais desse trabalho.

Ao professor Palhares por dispor de tempo para acompanhar e auxiliar em diversas oportunidades.

Aos meus amigos Aghata, Luana e Vinícius, pelo companheirismo.

À Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis, pela concessão da assistência estudantil.

SANTOS JUNIOR, Edimar Pereira. Variação da Disponibilidade de Água Para o Cultivo da Soja (*Glycine Max*), na Bacia do Tamanduá, Por Meio do Balanço Hídrico, Para o Período de 1961-1990 e 1991-2017. 2018. Número de páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2018.

RESUMO:

O cultivo da soja é o principal do estado do Paraná. Este trabalho teve por objetivo acompanhar a variação na disponibilidade de água na bacia do Rio Tamanduá entre 1961-1990 e 1991-2017 considerando o cultivo da soja. Para tal, foi elaborado o balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather, utilizando dados da estação Salto cataratas. Foi elaborado também o balanço hídrico mensal sequencial para o mesmo período, utilizando os dados da mesma estação mas em nível mensal. Foram definidas as exigências de água do cultivo da soja como a Capacidade de Água Disponível (CAD), o Ponto de Murcha Permanente (PMP) e Capacidade de Campo (CC) com base em parâmetros naturais como textura do solo e profundidade das raízes. Com os resultados do balanço hídrico climatológico foi possível definir o clima da região para os dois períodos estudados, para 1961-1990 o clima pode ser classificado como B2 r w2 A' a'. Para o período de 1991-2017 pode ser observada uma sutil mudança para B2 r w2 B'4 a'. Foi possível analisar também que nos meses de outono, inverno e final da primavera ocorrem os maiores excedentes. O balanço hídrico mensal sequencial mostrou a variação interanual da disponibilidade hídrica e indicou que houveram mais casos de excedentes do que deficiências hídricas em ambos os períodos estudados. Os dados foram comparados com calendários agrícolas possíveis para a região, considerando uma cultivar qualquer de ciclo médio, em rotação com a própria soja, foram analisados os cenários e concluiu-se que a semeadura da soja nos meses de Novembro tem menor probabilidade de enfrentar grandes excedentes por outro lado tem chance de enfrentar deficiências em momentos críticos como o enchimento de grãos.

Palavras Chave: Balanço Hídrico; Soja; Definição Climática

RESUMEN

El cultivo de la soja es el más expresivo del Paraná. Este trabajo tuvo como objetivos monitorear la disponibilidad del agua en la cuenca del río Tamandúá entre los años de 1961-1990 e 1991-2017. Por lo tanto fué calculado el balance hídrico climatológico, por el método de Thornthwaite y Mather, utilizando los datos de la estación Salto Cataratas. Fué calculado también el balance mensual secuencial para el mismo periodo con los datos de la misma estación pero en nivel mensual. Fueron definidos los niveles ideales del agua para el cultivo de la soja como la Capacidad del Agua Disponible (CAD), Punto de Murchidez Permanente (PMP) y la Capacidad de Campo (CC) basándose en parámetros naturales como la textura del suelo y la profundidad de las raíces. Con los resultados del balance climatológico fueron definidos los tipos climáticos de la región, para el primer período, 1961-1990, el clima pudo ser clasificado como B2 r w2 A' a'. En los años de 1991-2017 el clima se ha cambiado sutilmente para B2 r w2 B'4 a'. Fué posible analizar también que en los meses de outono, invierno e fines de la primavera ocurren los mayores excedentes. El balance mensual secuencial mostró la variación anual de la disponibilidad del agua. El balance secuencial mensual de agua mostró la variación interanual de la disponibilidad de agua e indicó que había más casos de superávit que las deficiencias de agua en ambos períodos estudiados. Los datos se compararon con posibles calendarios agrícolas para la región, considerando un cultivar de ciclo medio, en rotación con la soja misma, se analizaron los escenarios y se concluyó que la siembra de soja en los meses de noviembre tiene menor probabilidad de afrontar grandes superávits por otro lado tiene la posibilidad de enfrentar deficiencias en momentos críticos como el llenado de granos.

Palabras Clave: Balance Hidrico; Soja; Definición Climática

SUMÁRIO:

INTRODUÇÃO	7
1.2 IMPORTÂNCIA DA SOJA PARA O BRASIL	8
1.3 IMPORTÂNCIA DA SOJA PARA O PARANÁ	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS DA SOJA	11
2.2 NECESSIDADES CLIMÁTICAS.	12
2.2.1 Exigências Térmicas	13
2.2.2 Exigências Hídricas	14
2.3 DEFINIÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE	16
2.4 TÉCNICAS DO CULTIVO E RELAÇÃO SOLO-PLANTA-ATMOSFERA	19
2.4.1 Sistema Radicular	21
3 ÁREA DE ESTUDO	22
3.2 CLIMA LOCAL	26
3.2.1 Variabilidade pluviométrica anual	27
3.2.3 Variabilidade pluviométrica mensal	30
4 OBJETIVOS	32
4.1 GERAIS:	32
4.2 ESPECÍFICOS:	33
5. MATERIAIS E METODOLOGIA	33
5.1 BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO	34
5.2 BALANÇO HÍDRICO MENSAL SEQUENCIAL	36
6 RESULTADOS	41
6.1 CLIMA REGIONAL	41
6.2 COMPARAÇÃO COM O CALENDÁRIO AGRÍCOLA DA REGIÃO	47
6.3 VARIABILIDADE MENSAL NA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA	49
7. CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas dependem em grande parte de condicionantes naturais como a disponibilidade de água, o relevo, o solo, a paisagem e etc. Não se pode afirmar que o meio natural determina a vida humana, mas a condiciona, assim com é condicionado por ela. A atividade agrícola, por exemplo, é uma das atividades mais dependentes do meio natural como um todo, considerando os solos, a disponibilidade de água, o relevo e o clima.

Oriunda da China, a soja é cultivada desde meados do séc. XI a.C. Sua introdução no Brasil se deu no final do séc. XIX, na Bahia, sem sucesso. Foi no Rio Grande do Sul que se obteve melhor campo para a introdução da leguminosa que ganhou mais espaço na década de 1930, até então cultivada para consumo interno de subsistência, até que em 1949 passou a ser produzida para exportação. No Paraná o cultivo da soja se popularizou depois de 1954 em substituição aos cafezais devastados por geadas (CÂMARA, 2015).

O desenvolvimento da soja deslanchou entre as décadas de 1960 a 1970 e se deu no Centro-Sul do Brasil, principalmente nos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, e Goiás. A adaptação da soja às condições edafoclimáticas dessa região não foi natural, mas por meio de estudos conduzidos sobretudo por centros de pesquisa como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) que atuou no desenvolvimento de plantas geneticamente modificadas para se adaptar ao clima de baixas latitudes (FAO, 1995; CÂMARA, 2015).

A soja é uma *commodity* que tem seu preço e circulação controladas por mercado global, na bolsa de valores. Aproximadamente 90% dos grãos da soja são destinados à produção de farelo, que constitui a base da ração de suínos e bovinos devido sua concentração de proteína de alta qualidade, com isso, o mercado da carne exerce grande influência sobre a demanda da soja e consequentemente seus preços. Além disso, o grande teor de óleo presente no grão faz com que ela seja a base para a produção do óleo de soja para o consumo humano (HIRAKURI e LAZZAROTO, 2014).

Os principais consumidores mundiais de soja *in natura* são a China e países da União Europeia. O caso da China chama a atenção por ser o maior consumidor da *commodity*, demandando quase 80 milhões de toneladas do produto para manter seu parque industrial, no entanto a produção desse país é muito pequena, necessitando importar cerca de 70 milhões de toneladas.

Conforme apontamentos feitos por Hirakuri (2014) o Paraná foi o estado do Sul que mais teve prejuízos na produtividade da soja devido fatores climáticos, mais

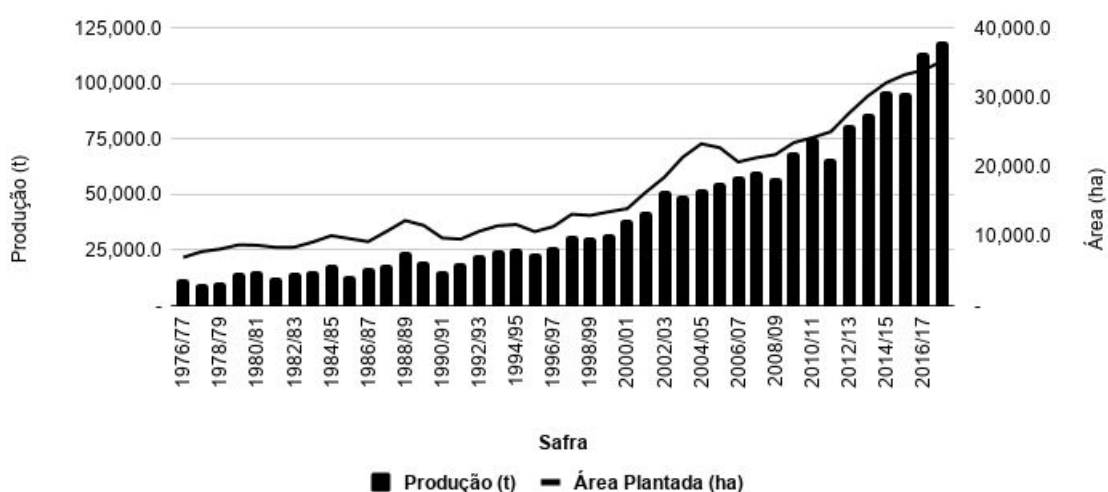
especificamente veranicos e altas temperaturas. Este trabalho apresenta um estudo da variabilidade da disponibilidade de água para a soja (*Glycine max*), no município de Foz do Iguaçu (PR).

1.2 IMPORTÂNCIA DA SOJA PARA O BRASIL

Atualmente, o complexo agroindustrial da soja é o principal do agronegócio brasileiro, o valor da produção na safra 2017/2018 atingiu 142 milhões de reais (CONAB). A soja é uma das principais *commodities* do mercado internacional. O Brasil é atualmente o maior exportador de soja no mundo, o país exportou mais de 61 milhões de em 2018 com renda bruta de mais de quase 26 bilhões de reais (EMBRAPA, 2018).

Na safra 2017/2018, produção do grão no país chegou a quase 125.000.000 toneladas em uma área plantada de aproximadamente 35,5 milhões de hectares, sendo a safra com uma das maiores rentabilidades da história (CONAB, 2018).

Gráfico 1: Rendimento histórico das safras no Brasil



Fonte: CONAB (2018)

O mercado exportador de soja no mundo é dominado pelos Estados Unidos e Brasil, que juntos controlam cerca de 80% das exportações mundiais. O Brasil se consolidou como maior exportador dado um cenário favorável. Enquanto os EUA consomem cerca de 18% da soja mundial, o Brasil consome apenas 14%, o que faz com que a produção de soja brasileira seja majoritariamente voltada para o mercado externo. Isso fez com que o Brasil respondesse por quase 41% das exportações de soja no mundo em 2013/14 enquanto os Estados Unidos, responderam por cerca de 39%.

Cabe ressaltar, no entanto, que esse cenário de exportação se deu devido a fatores políticos. Hirakuri e Lazzaroto (2014) mencionam que a Lei Kandir, que isenta a exportação de produtos a granel de ICMS, foi o principal fator que estimulou a

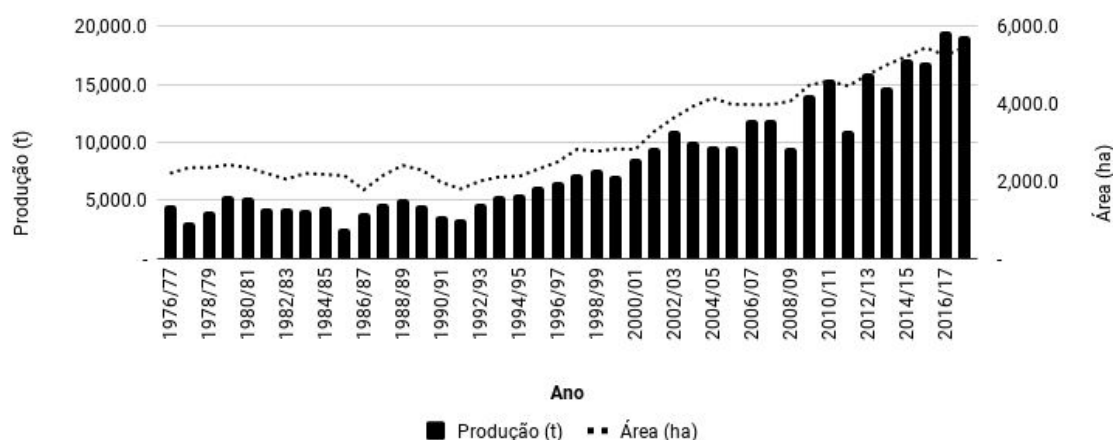
exportação de soja *in natura*. Apesar de parecer atrativo para os produtores, isso consolida o Brasil como produtor e exportador de *commodities* sem valor agregado, além de ser mais vantajoso para as grandes empresas da área, como Bunge, Cargill, ADM, Louis Dreyfus que concentram 70% do processamento da commodity, enquanto as empresas nacionais como A.Maggi, Coamo, Caramuru Alimentos, dentre outras, detêm os outros 30% (DALL'AGNOL et al., 2007; HIRAKURI e LAZZAROTO, 2014).

1.3 IMPORTÂNCIA DA SOJA PARA O PARANÁ

A atividade agrícola é uma das principais atividades do oeste paranaense. A região exportou, no ano de 2016, U\$71.653.791 de soja *in natura*, U\$57.964.776 de farelo de soja e U\$46.538.856 de óleo de soja o que correspondeu a mais de U\$176.157.000 em exportação apenas de soja e seus subprodutos (OBSERVATÓRIO TERRITORIAL, 2018).

O estado do Paraná é o segundo maior produtor nacional de soja, ficando atrás apenas do Mato Grosso. Conforme estudo promovido pelo Departamento de Economia Rural (2018) o estado está consolidado como segundo maior produtor de soja desde a safra 2016/17 quando a produção paranaense respondeu por cerca de 17% de toda a soja produzida no país, o que significa aproximadamente de 20 milhões de toneladas colhidas de uma área de mais de 5 milhões de hectares plantados.

Gráfico 2: Evolução da produção de soja no Paraná



Fonte: CONAB (2018)

A soja é o principal produto explorado pelas cooperativas do estado do Paraná, de acordo com estudo realizado por Cazarotto e Pereira (2012), as cooperativas paranaenses exportaram, no ano de 2008, cerca de U\$1 milhão e 500 mil em produtos em geral, dos quais a soja pré-processada foi a que mais rendeu, respondendo por

mais de U\$300 milhões em faturamento, seguida pela soja *in natura*, que gerou cerca de U\$240 milhões em faturamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O clima influencia diretamente nas diversas atividades humanas, por exemplo, a produção de energia solar, que está diretamente dependente do fotoperíodo e da cobertura de nuvens, assim como a produção de energia eólica é dependente da circulação geral e local da atmosfera.

O setor agrícola, todavia, que tem como principal produto as formas de vida vegetais, está ainda mais dependente do clima e do tempo que qualquer outro setor. Conti (2011) afirma categoricamente que “nenhum outro setor produtivo é tão dependente das condições climáticas como a agricultura. Estima-se que o sucesso ou insucesso das colheitas depende em 30% da evolução do tempo”, o mesmo autor continua

[...] Uma vez que cada espécie vegetal está adaptada a condições bem definidas de calor, precipitação e umidade relativa, além de possuir determinado padrão de sazonalidade climática. Numa análise mais detalhada, verifica-se que outros fatores vinculados ao clima também são importantes, como a luminosidade, que influi no processo de fotossíntese, a exposição da vertente em relação à radiação solar, além do fotoperiodismo (distribuição da incidência da luz solar ao longo do ano). (CONTI, p. 54, 2011)

Falando especificamente do Brasil, Ely et al. (2003) comentam que “a agricultura brasileira, de modo geral, apresenta uma forte dependência do desencadeamento das condições climáticas, consideradas como um dos principais fatores responsáveis pelas oscilações na produção interanual das culturas”.

Considerando o cultivo da soja, se faz necessário uma revisão de suas principais características fenológicas sobretudo no que diz respeito a suas exigências para o pleno desenvolvimento vegetal.

2.1 CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS DA SOJA

A importância de entender e descrever com detalhes a fenologia da soja permite conhecer seus estágios e relacioná-los com suas necessidades fisiológicas - tais como, necessidade de água, temperatura e etc. - ao longo do ciclo (FARIAS et al. 2009). A descrição que se segue foi elaborada por Fehr e Caviness (1977), conforme mencionado por Ferreira (2017).

Na tabela 1 são descritos os estágios vegetativos indicados pela letra V juntamente com a letra E que indica a emergência, é a primeira fase, o início do estágio vegetativo, quando a planta da soja começa a se desenvolver.

Tabela 1: Estágios fenológicos da soja.

Estágio	Denominação	Descrição
VE	Emergência	Cotilédones acima da superfície do solo.
VC	Cotilédone	Cotilédones complementares abertos.
V1	Primeiro nó	Folhas unifoliadas completamente desenvolvidas.
V2	Segundo nó	Primeira folha trifoliada completamente desenvolvida.
V3	Terceiro nó	Segunda folha trifoliada completamente desenvolvida.
VN	Enésimo nó	Ante-enésima folha trifoliada completamente desenvolvida.
R1	Início do Florescimento	Uma flor aberta em qualquer nó do caule.
R2	Florescimento pleno	Uma flor aberta num dos últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida.
R3	Início da formação da vagem	Vagem com 5mm de comprimento em um dos 4 últimos nós superiores sobre a haste principal com folha completamente desenvolvida.
R4	Vagem completamente desenvolvida	Vagem com 2mm de comprimento em um dos 4 últimos nós superiores, sobre a haste principal, com folha completamente desenvolvida.
R5	Início da formação da semente	Semente com 3mm de comprimento em um dos 4 últimos nós superiores, sobre a haste principal, com folha completamente desenvolvida.
R6	Semente completamente desenvolvida	Vagem contendo semente verde que preencha a cavidade da vagem localizada em um dos 4 últimos nós superiores, sobre a haste principal, completamente desenvolvida.
R7	Início da maturação	Uma vagem normal sobre a haste principal que tenha atingido a cor da vagem madura.
R8	Maturação plena	95% das vagens que tenham atingido a cor de maturação.
R9	colheita	Maturação de colheita.

Fonte: adaptado de Ferreira (2017)

Em seguida a letra V é seguida pela letra C que indica que o cotilédone está completamente aberto, daí em diante a letra V é seguida por um número que indica o grau de desenvolvimento até que se inicie o estágio reprodutivo.

O estágio Reprodutivo, por sua vez, é indicado pela letra R que é acompanhado por um número que indica o grau de desenvolvimento que vai desde o aparecimento da primeira flor, da primeira vagem, das sementes e por fim a maturação.

Os dados da tabela 2 foram estimados por Fietz e Rangel (2004), no Mato Grosso do Sul, e foram adotados como representativos de uma soja de ciclo médio.

Tabela 2: Períodos da soja de ciclo médio

Estágio	Duração em dias
VE a V2	15
V2 a R1	36
R1 a R5	31
R5 a R7	36

Fonte: Fietz e Rangel (2004)

O ciclo pode variar de acordo com a cultivar. Os dias de duração de cada período também podem variar de acordo com as condições de campo sobretudo entre a semeadura, a emergência e o estágio vegetativo, quando a temperatura do solo interfere diretamente no estabelecimento da cultura.

2.2 NECESSIDADES CLIMÁTICAS.

Em cada um dos estágios fenológicos da soja há uma necessidade específica no que diz respeito à demanda de energia e suprimento de água.

2.2.1 Exigências Térmicas

Considerando que a soja é um cultivo subtropical, é normal que as temperaturas ideais para seu cultivo estejam entre 20°C e 30°C. Para a semeadura a temperatura do solo deve, necessariamente, estar acima dos 20°C, sendo o ideal a média de 25°C, caso contrário a germinação e emergência podem ser prejudicadas. Regiões com temperaturas abaixo de 10°C são impróprias para o cultivo de soja, pois nessa temperatura o desenvolvimento é muito baixo ou nulo (FARIAS et al., 2007; EMBRAPA, 2008).

Temperaturas acima dos 40°C podem acarretar efeitos desastrosos como o cancro térmico, que é o tombamento fisiológico da planta. Quando as temperaturas são muito elevadas no começo do desenvolvimento da soja, o resultado é uma planta de maturação precoce (FARIAS, et al. 2009)

Tabela 3: Intervalos de temperaturas para a soja e seus impactos.

TEMPERATURA DO SOLO	
10°C	Temperatura mínima para a germinação e emergência.
27°C	Temperatura ideal para a nodulação das raízes e fixação do nitrogênio.
30°C	Temperatura ideal para a germinação e emergência e alongamento do hipocótilo.
TEMPERATURA DO AR	
13°C	Temperatura mínima para a indução floral.
15°C	Temperatura basal e mínima noturna.
20°C	Mínima diurna e ótima para a maturação floral.
25°C	Temperatura ótima para o florescimento, frutificação e granação.
30°C	Ótima para o desenvolvimento vegetativo e assimilação dos principais nutrientes como N, K e Zn.
35°C	Temperatura máxima diurna.
40	Temperatura crítica que causa distúrbios na floração e na formação de vagens.

Fonte: Adaptado de Caramori et al. (2015, apud. CÂMARA, 2000).

Temperaturas elevadas associadas à muita umidade podem acarretar em patologias e pragas, cuja presença na cultivar é devida a condições climáticas suscetíveis, pois os fungos, bactérias e insetos causadores de doenças possuem também seus ótimos climáticos os quais podem ou não favorecer seu desenvolvimento.

2.2.2 Exigências Hídricas

A disponibilidade de água é essencial para a soja na medida em que 90% do peso da planta é devido a água. A água é responsável pela solução de gases e nutrientes fundamentais nos processos metabólicos da planta tais como solução e transporte de nutrientes além do manutenção da temperatura. Para o suprimento das exigências hídricas da soja a pluviosidade no período do cultivo deve estar dentro do limiar de 450 e 800 mm (EMBRAPA, 2008; FERREIRA, 2017). Meurer (2007, p.86) assevera que “dentre os fatores biofísicos, a água é o principal fator que determina a eficiência nutricional, e consequentemente, a produtividade das culturas”.

Para a região oeste do Paraná, Caramori et al. (2015) reduzem o limiar ideal entre 500 e 700 mm. Para que a cultivar alcance bons rendimentos é necessário que a

pluviosidade seja bem distribuída ao longo dos períodos do cultivo. Tanto a deficiência como o excesso de água são prejudiciais ao cultivo da soja, sendo os excedentes muito mais limitantes, (FAO, 1995; FARIAS et al., 2007; FARIAS et al. 2009).

O estresse hídrico é uma das principais causas de perda de produtividade e rendimento, pois afeta a fenologia da planta. Ele ocorre quando a disponibilidade de água baixa a níveis críticos que restringem as atividades metabólicas e fisiológicas; pode haver deficiência hídrica sem que haja estresse, quando os níveis de água decaem mas sem atingir níveis críticos (MOTA, 1979; FARIA et al. 2015; FERREIRA, 2017).

As principais consequências do estresse hídrico sobre a soja, de acordo com Farias et al. (2007), são:

- Pequena estatura.
- Folhas pequenas.
- Entrenós curtos.
- Murchamento de tecidos vegetais.
- Fechamento dos folíolos.
- Diminuição da área foliar.
- Enrolamento da folha.
- Fechamento dos estômatos.
- Queda prematura de folhas e flores.
- Diminuição do número de vagens.
- Vagens com menos grãos ou vazias.
- Diminuição do acúmulo de matéria seca.
- Grãos menores.
- Maturação precoce.

O autor aponta ainda que estresse hídrico pode afetar ainda na assimilação de nitrogênio atmosférico bem como na absorção de nutrientes do solo essenciais para o desenvolvimento da planta.

Os danos podem variar de acordo com a intensidade e do estágio fenológico em que a planta se encontra. Os períodos mais críticos ocorrem na germinação-emergência e no enchimento de grãos, ou seja, no início do estágio vegetativo e no estágio reprodutivo (FAO, 1995; FARIAS et al., 2007; FARIAS et al., 2009; CARAMORI et al., 2015; FERREIRA, 2017).

A necessidade hídrica no período da germinação-emergência é variável de acordo com o tempo de duração do período, este por sua vez é determinado pela temperatura do solo. A uma temperatura de solo em torno de 15,5°C, a germinação

ocorre em 7 dias (FAO, 1995), considerando que o consumo de água é de 3mm/dia em média, a necessidade ao longo do período nessa fase é de 21 mm.

Para a fase da floração e enchimento de grãos, considerando que o período é maior, compreendendo todo o estágio reprodutivo, podendo ser de 30 a 60 dias, considerando uma evapotranspiração média de 7mm/dia, o consumo de água pode variar entre 120 a 300 mm (FARIAS et al. 2009).

Os excessos ocorrem quando a disponibilidade de água ultrapassa as necessidades da planta e do solo. O solo, que atua como “caixa da água”, possui um limite de armazenamento após a drenagem do excesso da água gravitacional, a Capacidade de Campo (ALBUQUERQUE, 2010), e quando essa capacidade é ultrapassada, a água que excede, forma o escoamento superficial. Para a definição dos excedentes é necessário conhecer não somente as características da planta com a qual se está trabalhando mas principalmente as do solo, pois as características dele é que definem as probabilidade de ocorrência de excedentes. Os excessos de água podem comprometer “o arejamento do solo, o desenvolvimento das raízes e a fixação de nitrogênio, interferir em outros processos e causar várias anomalias no desenvolvimento da soja, reduzindo o rendimento de grãos” (FARIAS et al., 2007).

2.3 DEFINIÇÃO CLIMÁTICA

Conforme o que foi discutido anteriormente, o clima é de fundamental importância para as atividades agrícolas, se faz necessário conhecê-lo em detalhes para que não haja equívocos no uso do território agrícola. O clima é dinâmico, pode ser definido como a “síntese do tempo num dado lugar durante um período de aproximadamente 30-35 aos” (AYOADE, p. 2, 2015).

O clima é constituído pelo conjunto e interação de diferentes elementos como altitude, latitude, radiação, mas os principais elementos utilizados nas classificações climáticas são temperatura e precipitação.

As classificações climáticas são formas de sistematizar e traduzir o clima de acordo com seus principais elementos. As sensíveis diferenças entre os elementos ao longo do espaço ou mesmo ao longo do tempo são apontadas nessas classificações, distinguindo os climas regionais.

Inúmeros sistemas foram elaborados para a classificação climática. A mais usual é a classificação de Köppen, desenvolvida pelo biólogo Wladimir Köppen, que considera a vegetação com principal expressão do clima regional, sendo esta utilizada

para a classificação climática, associada aos padrões sazonais de temperatura (máxima, média e mínima) e pluviosidade.

Para esta pesquisa optou-se pela classificação de Thornthwaite e Mather (1955), que se baseia no balanço hídrico como elemento para a classificação climática, dada a importância da água como elemento natural não só para o clima, mas também para os processos físicos e químicos da natureza.

Nesse método, a temperatura não é utilizada de forma bruta, mas trabalhada como índices, e esses são relacionados com a pluviosidade. Com a temperatura média mensal obtém-se a evapotranspiração potencial que indica o poder evapotranspirante da atmosfera. Mais detalhes são descritos a seguir e na metodologia.

2.3 DEFINIÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE

A definição climática de acordo com os parâmetros de Thornthwaite segue uma nomenclatura específica conforme a tabela a seguir:

Tabela 4: Nomenclatura climática de acordo com o Índice de Umidade (Im)

Nomenclatura	Significado	Índice de Umidade (Im)
A	Superúmido	$Im \geq 100$
B-4	Úmido	80 a 99
B-3	Úmido	60 a 79
B-2	Úmido	40 a 59
B-1	Úmido	20 a 39
C-2	Subúmido	0 a 20
C-1	Subúmido seco	-20 a -1
D	Semi-árido	-40 a -21
E	Árido	-60 a -41

Fonte: Vianello & Alves (2000)

Nota-se que quanto menor o Índice de Umidade (Im), mais seco é o clima, obviamente devido a relação da umidade com esse parâmetro. Climas com Im maior ou igual a 100 são Superúmidos, ou seja, os excedentes são extremos em relação às deficiências, de forma que a disponibilidade de água atende totalmente a demanda da evapotranspiração potencial (EPp), climas com essas características são indicados pela letra “A”. Os climas úmidos constituem uma classe que varia entre $Im < \text{ou igual a } 20$ e Menor que 99. Se caracterizam por ter excedentes maiores que as deficiências e

suficientes para suprir as demandas, climas com essas características são classificados com as letras B sendo subdividido em 4 classes de acordo com o Im. O clima pode ser definido como árido quando o Im atingir valores abaixo de -40, que ocorre quando as deficiências são mais expressivas que os excedentes e a disponibilidade de água não é capaz de suprir as demandas da atmosfera.

Na tabela 5 está relacionado o subtipo baseado no Índice de Aridez (Ia). Esse índice indica a demanda da atmosfera e a relação com a deficiência de água. Quanto Maior a deficiência maior será o Ia.

Tabela 5: Subtipo Climático com Base no Índice de Aridez (Ia)

Subtipo 1	Significado	Índice de Aridez (Ia)
r	Deficiência de água pequena ou nula.	0 a 16,7
s	Deficiência de água moderada no verão.	16,8 a 33,3
w	Deficiência de água moderada no inverno.	16,8 a 33,3
s2	Grande deficiência de água no verão.	> 33,4
w2	Grande deficiência de água no inverno.	> 33,4

Fonte: Vianello & Alves (2000)

Cabe ressaltar que uma região com Ia elevado não necessariamente é seca do ponto de vista das médias pluviométricas, mas pode representar regiões em que os índices pluviométricos são elevados mas não o bastante para suprir as demandas da atmosfera.

O Índice Hídrico (Ih), relacionado na tabela 6, dará a subtipo 2 conforme a mensuração dos excedentes. Ele é dado pela relação direta entre o excedente e a evapotranspiração potencial e quanto maior os excedentes, maior o Ih.

Tabela 6: Subtipo Climático com Base no Índice Hídrico (Ih)

Subtipo 2	Significado	Índice Hídrico (Ih)
d	Excesso de água pequeno ou nulo.	0 a 10
s	Excesso de água moderado no verão.	10 a 20
w	Excesso de água moderado no inverno.	10 a 20
s2	Grande excesso de água no verão.	≥ 20
w2	Grande excesso de água no inverno.	≥ 20

Fonte: Vianello & Alves (2000)

Na classificação climática de Thornthwaite considera-se ainda a somatória da evapotranspiração potencial anual (tabela 7), que constitui-se o Índice Térmico.

Percebe-se que com o aumento da evapotranspiração potencial, o clima recebe uma classificação diferenciada, isso se dá porque a evapotranspiração potencial é baseada na temperatura, que define o poder evapotranspirante da atmosfera.

Tabela 7: Subtipo Climático com Base na Evapotranspiração Anual

Subtipo 3	Significado	Índice Térmico
A'	Megatérmico	≥ 1.140
B'4	Mesotérmico	997 a 1.140
B'3	Mesotérmico	855 a 997
B'2	Mesotérmico	712 a 855
B'1	Mesotérmico	570 a 712
C'2	Microtérmico	427 a 570
C'1	Microtérmico	285 a 427
D'	Tundra	142 a 285
E'	Gelo perpétuo	< 142

Fonte: Vianello e Alves (2000)

Considera-se também a evapotranspiração acumulada no verão (ETV), que indica a concentração anual da evapotranspiração. Ela muda de acordo com a latitude, conforme o movimento aparente do sol, as regiões intertropicais tem, nas meses de Janeiro, Fevereiro e Dezembro, as maiores taxas de evapotranspiração potencial

Tabela 8: Subtipo Climático com Base na Evapotranspiração de Verão

Subtipo 4	Evapotranspiração de Verão %
a'	< 48
b'4	48 a 51
b'3	51 a 56
b'2	56 a 61
b'1	61 a 68
c'2	68 a 76
c'1	76 a 88
e	> 88

Fonte: Vianello e Alves (2000)

2.4 TÉCNICAS DO CULTIVO E RELAÇÃO SOLO-PLANTA-ATMOSFERA

As técnicas de cultivo, ou seja, as formas como é implantada e manejada a cultivar, interfere bastante na relação solo-planta-atmosfera. Estudos realizados pela Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2009), demonstram como o sistema de plantio interfere, principalmente, na água disponível para as plantas no solo. Um plantio e manejo adequados são fundamentais para a máxima eficiência no aproveitamento da disponibilidade hídrica e consequentemente, maior produtividade.

O plantio da soja pode ser feito de modo convencional ou pelo sistema de plantio direto. O sistema de plantio convencional é baseado na aração, que revolve a camada superficial de solo. Com isso, o plantio pode ser realizado em um solo momentaneamente propício. Contudo, observando os efeitos a longo prazo, pode-se observar sérios problemas nesse sistema (EMBRAPA, 2009) tais como:

- Redução na capacidade do solo de reter água.
- Pouco aproveitamento da matéria orgânica.
- Redução no contato entre o solo e a raiz.
- Desarranjo da drenagem natural, ou seja, quebra nos poros e da estrutura do solo.
- Contato direto do solo com a atmosfera, potencializando a evaporação.
- Potencialização da lixiviação.
- Maior erodibilidade do solo.

Outro sistema que vem sendo amplamente adotado e já consolidado no oeste paranaense é o sistema de plantio direto. Esse sistema é menos agressivo e consiste no não revolvimento do solo, manutenção da cobertura orgânica do solo e rotação de culturas (ANGHINONI, 2007). As vantagens do Sistema de plantio direto, de acordo com Grupo Plantio Direto (2000) e EMBRAPA, (2009), são:

- Formação de barreira física para a evaporação de água do solo pelo manutenção da cobertura de matéria seca.
- Menor variação da temperatura do solo.
- Melhor retenção do escoamento superficial.
- Melhor infiltração de água no solo.
- Diminuição do efeito *splash*.
- Melhoramento da estrutura do solo.
- Maior armazenamento de água no solo.
- Aumento do sistema radicular da soja.

- Menor erodibilidade.

Franchini et al. (2009) apontam ainda que o sistema mais adequado é aquele que garante um bom volume de água para as plantas, reduzindo a perda de água entre o solo e a atmosfera e melhorando a infiltração de água no mesmo. Além disso, deve facilitar o crescimento do sistema radicular para que este possa ter acesso à água armazenada nas camadas mais profundas do solo.

O sistema de plantio direto favorece a formação de resíduos na interface solo-atmosfera que favorecem a infiltração da água no solo (ROTH et al., 1988 apud MERTEN E ARAÚJO, 2016). Cabe ressaltar que o terraceamento é de fundamental importância em qualquer técnica de plantio que se adote. Conforme ressaltam os autores a erodibilidade está diretamente relacionada à declividade do terreno e à presença de rugosidades, o terraceamento ajuda a criar descontinuidades que minimizam a declividade e conseqüentemente amenizam o escoamento superficial. Essa técnica de preservação do solo é bastante eficaz no que tange à redução da erosão dos solos ajudando a reter água disponibilizando-a para as plantas.

Ao se adotar a rotatividade de cultivos, há que se tomar muito cuidado na escolha da associação, ou seja, quais cultivos serão adotados na sucessão com a soja. De acordo com a Franchini et al. (2009) a rotatividade pode interferir na eficiência do sistema de plantio direto. Foi constatado que, ao fazer a associação da soja com o milho safrinha, a quantidade de matéria seca disponível foi, via de regra, muito baixa, acarretando na baixa retenção de água no solo, além de interferir na densidade do solo, podendo compactá-lo.

As técnicas empregadas nos cultivos interferem diretamente na produtividade. É de extrema importância que se adote as técnicas mais adequadas ao terreno em que se está cultivando. Terrenos com maior declive exigem o terraceamento, o sistema de plantio direto e a semeadura perpendicular ao declive para evitar a erosão dos solos e aumentar a disponibilidade de água para as plantas.

2.4.1 Sistema Radicular

O sistema radicular é constituído pelas raízes da planta. É a área ocupada pelas raízes em um dado volume de solo. A profundidade efetiva das raízes é onde se encontram cerca de 80% das raízes de uma planta. Essa medida depende do tipo de solo e do cultivo (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007).

O sistema radicular da soja pode atingir até 2 metros de profundidade, enquanto que a profundidade efetiva, onde se localiza a maior parte do sistema radicular, fica em

torno de 15 e 20 cm (FAO, 1995). No Brasil, Farias et al. (2009), definiram que a profundidade máxima das raízes da soja pode alcançar 1,5 metro, enquanto a profundidade efetiva de exploração fica em torno de 40 a 50 cm.

Em estudos conduzidos por Fietz e Rangel (2004), em Minas Gerais, se definiu que a profundidade efetiva de exploração das raízes, ou seja, onde se encontram 80% do sistema radicular, varia com o estágio fenológico da planta de acordo com a tabela 9.

Tabela 9: Profundidade do sistema radicular da soja de acordo com o estágio vegetativo

ESTÁGIO FENOLÓGICO	PROFUNDIDADE DO SISTEMA RADICULAR
VEGETATIVO	0,15
REPRODUTIVO	0,30
MATURAÇÃO	0,40

Fonte: Fietz e Rangel (2004)

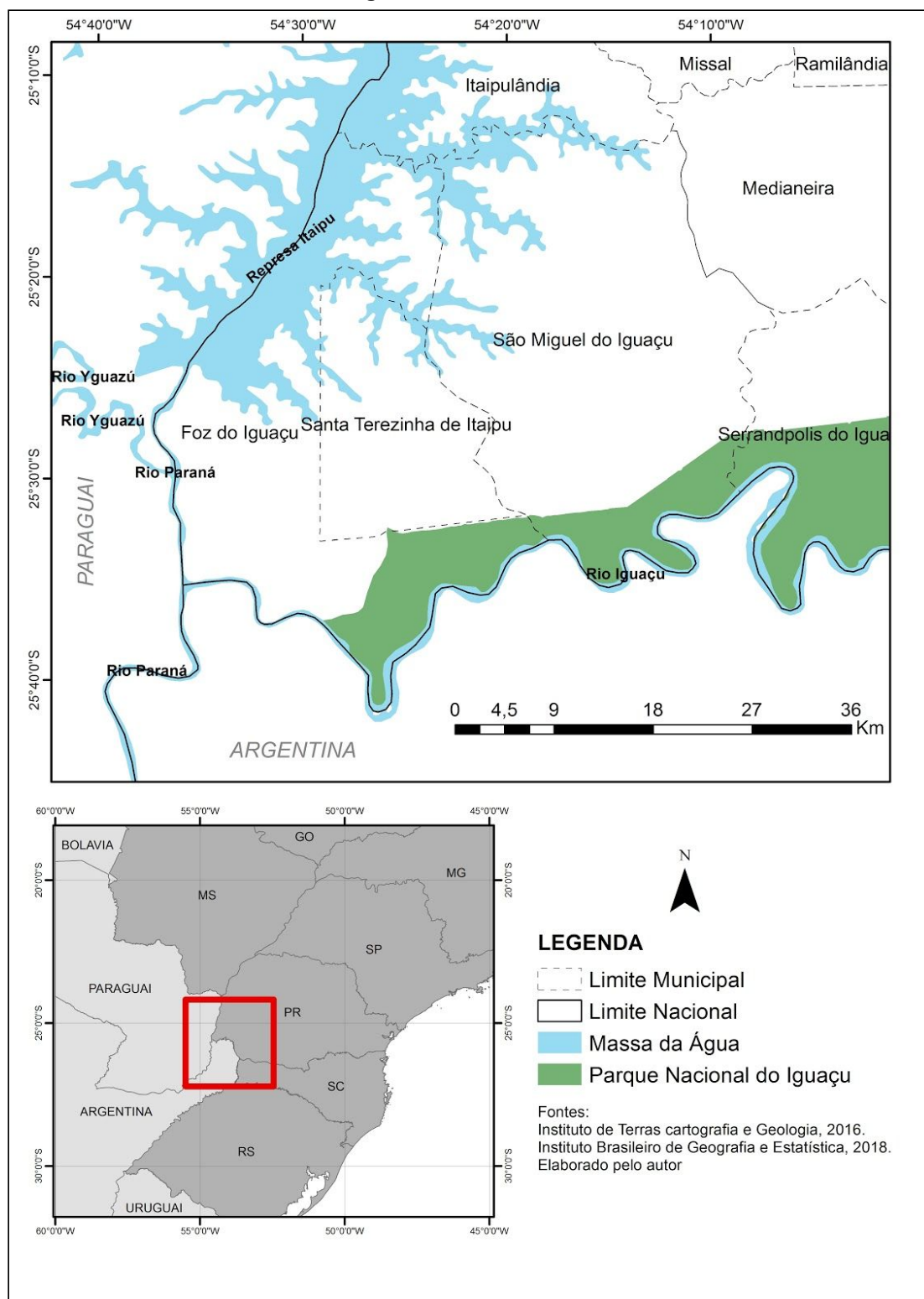
O sistema radicular é o responsável pela captura de água e nutrientes do solo, sua profundidade é um fator que determina a disponibilidade desses recursos para a planta, quanto mais profundo o sistema, maior a disponibilidade de água. Um manejo adequado do solo somado a um sistema de cultivo adequado pode melhorar o aprofundamento das raízes (FRANCHINI et al. 2009).

Existem associações entre a raiz e microorganismos como fungos e bactérias. Os fungos capazes de se associar às raízes são chamados micorrízicos e tem a capacidade de expandir a área de exploração das raízes, ajudando na disponibilidade de água e nutrientes (STÜMER; SIQUEIRA, 2013). Dentre as bactérias, chamadas rizóbios destaca-se a capacidade da soja, como leguminosa, de se associar à bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico que nodulam a raiz, exercendo atividades metabólicas que disponibilizam o Nitrogênio atmosférico que a planta em si não é capaz de fixar (MOREIRA et al. 2013).

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é o município de Foz do Iguaçu, localizado na região oeste paranaense (Figura 1), faz fronteira com Ciudad del Este e Hernandarias e Presidente franco do Paraguai e Puerto Iguazú da Argentina.

Figura 1: Área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com dados da Produção Agrícola Municipal (PAM), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), a produção de soja no município de Foz do Iguaçu, no ano de 2017, alcançou 33.598 toneladas de soja de uma área plantada de 9.850 hectares plantadas, chegando a um rendimento médio de 3,411 t/ha. A paisagem típica da região é de monocultivos, geralmente em sistema de plantio direto conforme ilustra a figura 2.

Figura 2: Paisagem de um talhão agrícola com plantio de soja na região de estudo



Fonte: Galeria do autor

3.1 SOLOS

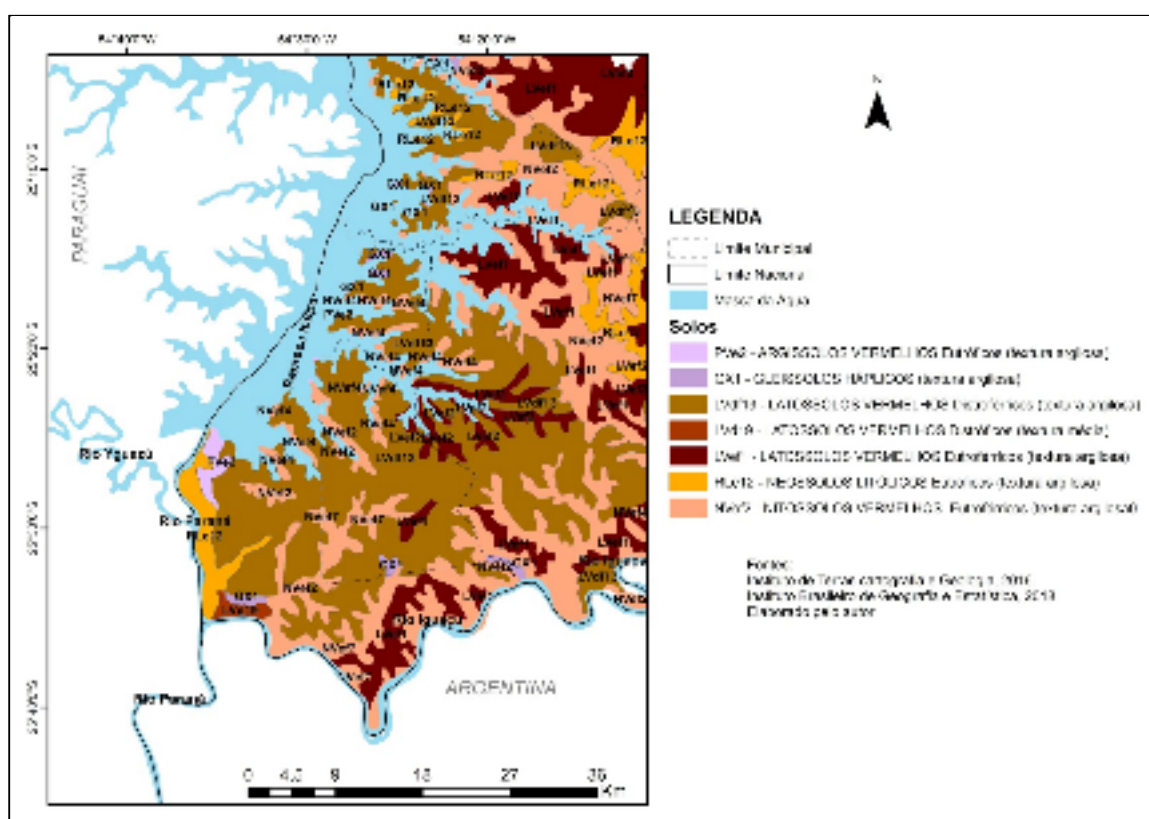
Os tipos de solo predominantes na região são Latossolo vermelho eutroférico e distroférico, Nitossolo vermelho e, em menor proporção, Gleissolos e Neossolos (ITCG, 2018), demonstrados na figura 3. Os solos são resultado da ação conjunta e contínua de cinco fatores: clima, material de origem, relevo, seres vivos e tempo (LEPSCH, 2010; OLIVEIRA, 2011). Os derrames de lava do período mesozóico formaram camadas de *trapp*, composta de rochas básicas efusivas, os basaltos, que sob condições variáveis de clima, juntamente com os demais fatores como relevo e organismos, deram origem aos solos da região (MAACK, 2012).

Os solos de textura argilosa se caracterizam por ter um grande teor de argila, da ordem de 80% de suas partículas minerais tem dimensões menores de 0,002 mm (LEPSCHE, 2010).

O solo é o elemento de base para a planta, nele estão concentradas as soluções de nutrientes que a planta precisa para se desenvolver. O solo atua como “caixa” onde a água fica armazenada. Conhecer a textura e as características do solo é de fundamental importância para o balanço hídrico. Os detalhes sobre a capacidade de armazenamento do solo e a disponibilidade para as planta de acordo com a textura e a profundidade das raízes estão dispostos na metodologia (Item 5.2).

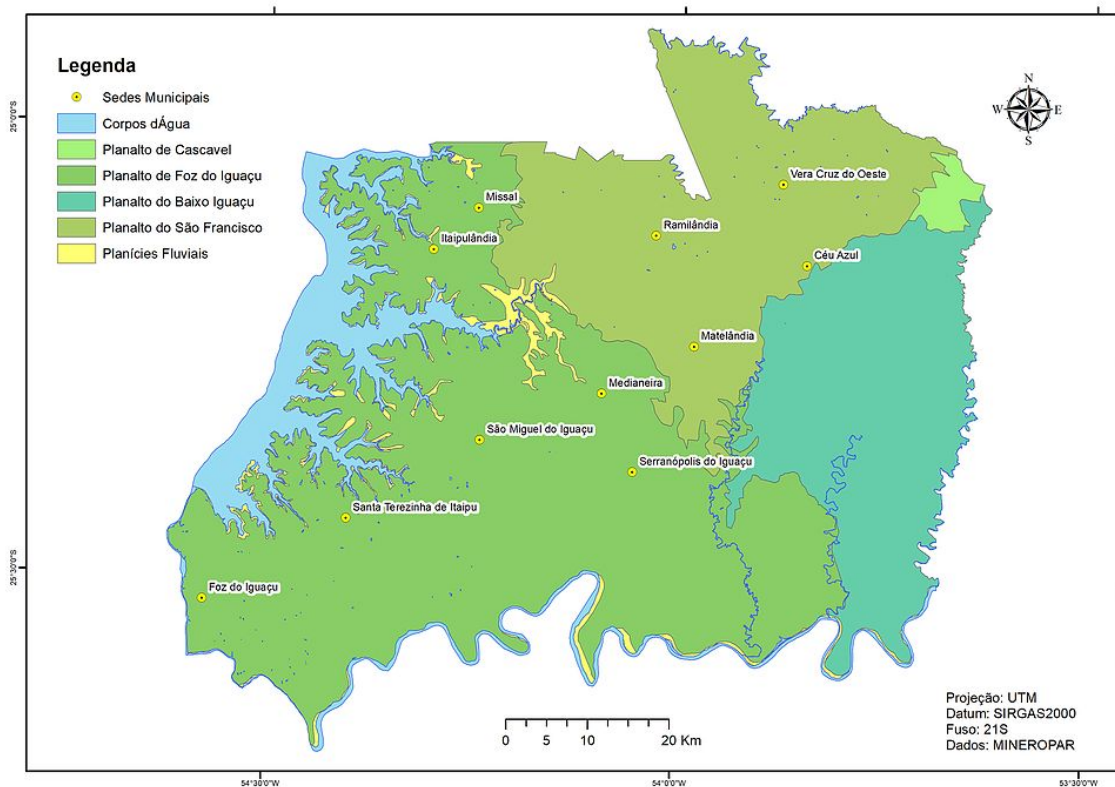
O terreno é pouco acidentado, com declividades inferiores a 6% no Planalto de Foz do Iguaçu e entre 12% e 30% nos Planaltos de São Francisco e Cascavel (OKA-FIORI e SANTOS, 2016 apud OLIVEIRA E ADAMI) o que confere uma paisagem de planaltos com declives suaves (figura 4).

Figura 3: Solos Predominantes na Região



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4: Geomorfologia predominante na região



Fonte: Oliveira e Adami, 2018.

3.2 CLIMA LOCAL

O clima da região é bastante influenciado pelas seguintes massas de ar, conforme mencionado por Palhares (2007):

- (MTA) Massa Tropical Atlântica.
- (MTC) Massa Tropical Continental.
- (MPA) Massa Polar Atlântica.
- (MEC) Massa Equatorial Continental.

Dentre essas, as que mais atuam na formação de estados de tempo na região são: MTA, MTC e MPA (tabela 10).

Tabela 10: As principais massas de ar que atuam na região

Massa de Ar	Origem	Período de Atuação	Principais Características
Massa Tropical Atlântica (MTA).	Oceano Atlântico entre as latitudes 20° Sul e 30° Sul.	Verão	Quente e úmida.
Massa Tropical Continental (MTC).	Interior do continente, entre as Latitudes 20° Sul e 25° Sul. Região do Chaco.	Verão	Quente e pouco úmida.
Massa Polar Atlântica (MPA).	Atlântico Sul, latitudes superiores a 50°.	Inverno	Fria e úmida.
Massa Equatorial Continental (MEC).	Interior do continente, entre as latitudes 10° Norte e 10° Sul.	Verão	Quente e úmida.

Fonte: Tarifa (1973)

Conforme menciona Tarifa, (1973), algumas dessas frentes tem maior atuação, como por exemplo a Polar Atlântica e a Tropical Continental. Seus estudos focam a região de Presidente Prudente, contudo, as massas de ar tem atuação macrorregional e seus desdobramentos atingem o oeste do Paraná antes mesmo de atingirem o oeste de São Paulo, como é o caso da M.P.A, pois o deslocamento dessa massa é no sentido S-N. O autor menciona que essas massas têm atuação bastante marcante. A Polar Atlântica, que atua com bastante força no inverno, pode estar associada à ascensão da pressão atmosférica, que ocorre devido ao resfriamento do ar, que adensa sua composição, contraindo as moléculas do ar, deixando-o mais concentrado, quando isso ocorre há maior concentração das moléculas em uma considerada coluna de ar, consequentemente o barômetro indica aumento na pressão (AYOADE, 2015).

Ainda com base no trabalho de Tarifa (1973), destaca-se a atuação da massa Equatorial Continental, que atua no verão com maior força, pois tem origem térmica, ou seja, com o aumento das temperaturas do ar na região do chaco paraguaio e sul boliviano. Essa massa, por se desenvolver no interior do continente, se caracteriza por ser pouco úmida e quente.

O autor destaca ainda que é bastante comum o encontro dessas duas massas, principalmente quando a M.P.A começa a ganhar força e avançar para o Norte, formando as Frentes Frias, com linhas de instabilidades (TARIFA, 1973).

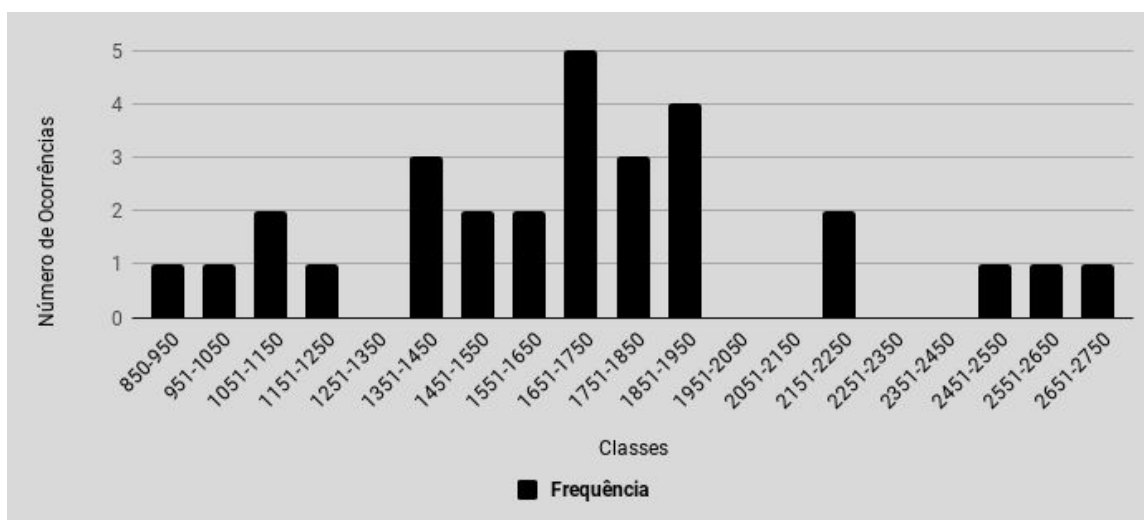
3.2.1 Variabilidade pluviométrica anual

Conforme mencionado no item 2.1, o clima e a variabilidade temporal dos elementos que o compõe, mais precisamente a variabilidade de água, afetam diretamente as atividades humanas. O cultivo da soja é muito sensível à variabilidade conforme mencionado no item 2.2.2.

Aplicando algumas medidas de tendência central aos dados de pluviosidade obtidos da estação meteorológica Salto Cataratas, fornecidos pela Agência Aguas Paraná, obtêm-se indicadores sobre a variabilidade anual das chuvas.

Analisando o gráfico 3 observa-se, no eixo X, os intervalos de pluviosidade de 100 mm que representam, na menor classe, 850 mm, referente ao ano mais seco, até 2750 mm, referente ao ano mais chuvoso. Percebe-se a frequência dos valores de pluviosidade e demonstra-se quais os intervalos com maior e menor frequência.

Gráfico 3: Variabilidade das médias anuais de pluviosidade 1961-1990



Fonte: Agência Aguas Paraná, 2018

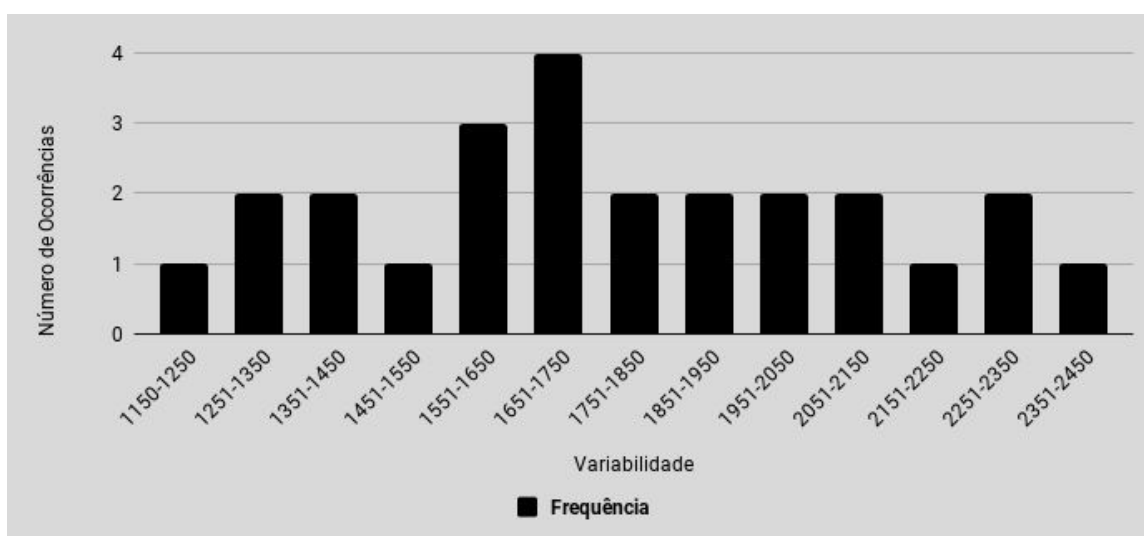
As classes foram definidas de forma arbitrária, não havendo uma regra específica para a definição de um intervalo preciso entre elas, mas deve-se salientar que 100 mm é um valor substancial, capaz de prejudicar as cultivares quando em falta ou excesso. É possível identificar a classe com maior frequência, que vai de 1651 mm a 1750 mm contendo 5 ocorrências, essa é portanto a chamada classe modal, na inexistência de valores únicos que indiquem a moda como medida de tendência central. Para esse período a média anual da precipitação ficou em 1696,2 mm e a mediana em 1695,8 mm, ambas se encontram dentro da classe de maior ocorrência.

No período de 1961-1990 observa-se que houve uma grande variabilidade na pluviosidade devido o número de classes em que foram divididos os valores de

precipitação e a distribuição entre essas classes. A Amplitude Total de Variação (ATV) foi de 1821,6 mm, o que indica a diferença entre o menor e o maior acumulado de precipitação.

No gráfico 4, referente ao período de 1991-2017, observa-se que o número de classes foi menor. As classes com maior frequência estão entre 1551-1650 mm e 1651-1750 mm, sendo essa última a classe modal com 4 ocorrências das 27 do período. As medidas de tendência central indicam que a média para o período foi de 1785,4 mm e a mediana foi de 1724 mm, bem próximos a classe com maior frequência. Para o período a ATV foi de 1.094 mm, menos da metade do período anterior o que indica que a variabilidade foi menor.

Gráfico 4: Variabilidade das médias anuais de pluviosidade 1991-2017



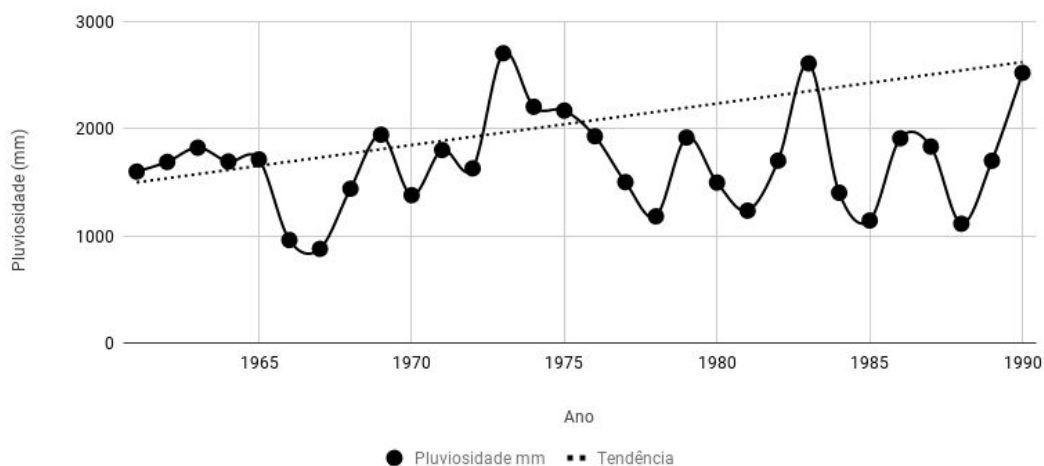
Fonte: Agência Aguas Paraná, 2018

3.2.2 Tendência

Quando se trabalha com longas séries de dados, de no mínimo 30 anos para estudos climáticos, como é o caso, se faz necessária uma análise de medidas de tendência dos dados, de forma a extrair algum padrão que indique a evolução do dado. Ao observar as médias anuais de pluviosidade, devido a variabilidade entre um ano e outro, é difícil observar padrões sem a aplicação de algum método estatístico. Com isso foi realizada a predição através do método de regressão simples utilizando apenas duas variáveis, uma variável X independente (o tempo cronológico), e uma variável Y dependente, a chuva. Seguiu-se o roteiro estabelecido por Zavattini e Boin (2013).

Analisando o gráfico 5, observa-se a relação dos acumulados pluviométricos anuais e sua variação ao longo do tempo. A tendência para o período demonstra um padrão de aumento acentuado dos valores de pluviosidade.

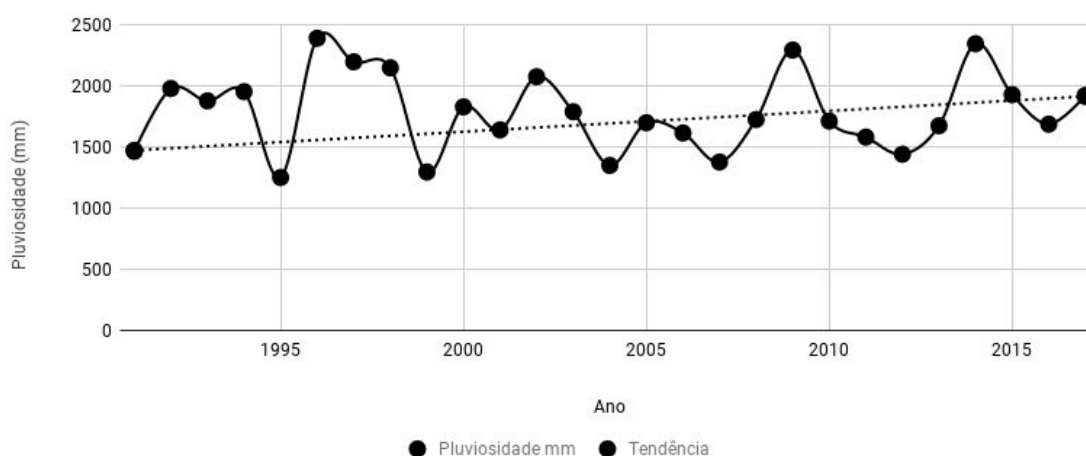
Gráfico 5: tendência pluviométrica 1961-1990



Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados do gráfico 6 demonstram os acumulados pluviométricos do período de 1991-2017 e assim como no período anterior, a reta de tendência aponta um padrão de aumento da pluviosidade dentro do período analisado.

Gráfico 6: Tendência pluviométrica 1991-2017



Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.3 Variabilidade pluviométrica mensal

A variabilidade anual não é uma escala suficientemente detalhada para atender as necessidades deste trabalho posto que o cultivo da soja é mais afetado pela variabilidade mensal. Adotou-se a representação da variabilidade da pluviosidade pelo pluviograma, conforme apresentado por Zavattini e Boin (2015). No pluviograma abaixo pode-se perceber que, nas colunas, estão dispostos os meses, e nas linhas os anos. Os meses mais chuvosos são destacados por tonalidades escuras, enquanto os mais

secos, com tonalidades mais claras. O valor do quadro apresenta a porcentagem do acumulado mensal referente ao total anual, que por sua vez está alocado na última coluna. Considera-se que valores entre 18 e 23% como alta concentração e entre 24 e 29% muito alta concentração.

Para o primeiro período observa-se na figura 5 que a distribuição mensal das chuvas é bastante irregular, tornando-se difícil a definição de períodos secos e chuvosos. Mas pode-se perceber que há poucos meses que concentram mais de 20 da pluviosidade anual, enquanto muitos dos meses concentram até 5%. Isso indica que a pluviosidade é má distribuída ao longo de um ano, e que geralmente um ou dois meses concentram quase a metade do acumulado anual.

Figura 5: Pluviograma 1961-1990

Anos	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAIS
1960	7	9	3	7	6	7	5	15	10	15	10	7	1575
1961	7	5	14	8	4	8	3	4	9	18	12	7	1601,5
1962	16	19	5	6	5	2	4	4	9	13	14	2	1691,8
1963	13	4	9	5	13	4	2	2	8	12	17	11	1824,6
1964	3	9	17	15	1	4	6	15	10	7	7	5	1695,8
1965	5	22	6	12	11	3	4	8	6	9	2	12	1715,5
1966	5	16	6	1	5	24	8	4	5	12	3	12	964
1967	25	5	21	2	6	7	10	7	2	9	4	3	882,3
1968	13	5	5	11	3	5	4	3	11	15	4	21	1442,1
1969	13	6	10	11	13	10	2	1	11	6	10	7	1945,1
1970	10	6	8	2	6	10	10	4	16	14	4	11	1381,9
1971	11	13	10	3	7	13	8	7	5	9	7	9	1802,5
1972	8	8	4	6	4	3	10	15	16	7	12	7	1632
1973	12	6	5	9	13	6	5	7	6	13	8	8	2703,9
1974	8	6	3	5	8	12	3	14	3	12	12	12	2205,6
1975	5	8	5	6	8	7	4	6	14	10	9	18	2170
1976	13	5	16	7	7	6	7	8	6	11	7	6	1931,3
1977	16	8	11	3	4	13	3	8	3	9	14	8	1503,7
1978	5	3	6	0	3	5	23	8	12	12	13	10	1185,4
1979	2	14	4	8	15	2	3	7	11	8	6	20	1918,9
1980	19	5	6	3	18	4	3	7	10	13	6	5	1499,6
1981	11	4	5	16	3	8	0	0	7	11	8	26	1237,9
1982	1	10	4	3	4	9	17	8	2	9	29	3	1703,8
1983	7	6	8	12	13	7	16	0	9	10	11	1	2609,8
1984	9	5	9	13	3	14	4	10	6	7	13	7	1404,8
1985	5	16	10	12	9	7	10	7	4	12	5	2	1146,3
1986	9	15	10	5	18	2	4	6	9	7	5	11	1911,7
1987	8	11	2	15	14	3	6	2	1	16	11	11	1834,6
1988	9	12	3	16	15	12	0	1	2	18	6	6	1116,3
1989	13	9	5	7	4	9	4	15	11	13	4	7	1702,7
1990	15	3	4	11	9	11	5	13	13	5	4	6	2521,6
	<div>0-5%</div> <div>6-11%</div> <div>12-17%</div> <div>18-23%</div> <div>23-29%</div>												

Fonte: Agência Aguas Paraná

Para o segundo período (figura 6) nota-se o padrão similar de concentração de mais de 20% da pluviosidade em um ou dois meses do ano, mas já é possível notar claramente que os meses de Outubro, Novembro e Dezembro, que marcam a transição entre Primavera e Verão, são os mais chuvosos, seguidos dos meses de Maio e Junho, marcando a transição entre o outono e o inverno. Julho e Agosto são os que

apresentam as menores porcentagens, concentrando sempre valores abaixo dos 14% da pluviosidade anual.

Figura 6: Pluviograma 1991-2017

Ano	Janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro	TOTAIS
1991	16	0	5	10	5	20	2	3	7	5	10	17	1463,3
1992	1	12	10	9	19	7	8	8	6	9	7	4	1977,5
1993	10	9	9	1	12	12	8	1	11	10	9	8	1876,6
1994	2	13	3	6	11	13	4	1	6	10	19	13	1951,8
1995	11	10	16	11	1	4	4	2	13	17	3	8	1249,7
1996	7	8	8	4	4	5	3	1	6	27	7	22	2388,7
1997	6	7	2	3	17	13	4	9	10	9	15	6	2195,9
1998	4	11	13	14	7	4	2	14	11	13	2	6	2147,1
1999	13	10	5	10	10	13	8	1	5	3	5	15	1294,3
2000	12	11	3	8	9	10	3	7	8	12	7	11	1827,2
2001	11	17	5	10	4	7	6	3	8	7	10	11	1638,8
2002	14	3	3	2	17	4	3	5	6	14	15	14	2073,9
2003	6	9	5	7	2	5	4	3	11	18	7	25	1787,5
2004	1	3	5	10	26	5	12	1	4	18	13	2	1348,3
2005	10	1	2	7	20	11	5	2	13	24	2	3	1697,4
2006	13	4	14	5	0	6	2	5	11	11	14	15	1613,7
2007	11	7	5	17	13	1	6	2	2	9	14	12	1376
2008	10	6	2	16	5	12	5	11	8	17	6	2	1724
2009	8	7	2	3	14	4	7	8	11	18	9	9	2292
2010	9	8	15	8	5	3	7	1	6	13	4	19	1711
2011	7	8	6	8	1	5	14	12	10	18	9	3	1580
2012	8	3	4	17	7	11	10	0	3	18	6	13	1440,2
2013	10	10	9	4	12	14	3	3	8	10	9	6	1673
2014	8	4	12	10	10	19	9	1	9	3	6	10	2344
2015	6	7	5	6	11	5	13	2	5	6	15	19	1927
2016	10	11	15	4	9	2	4	11	3	12	6	14	1685,9
2017	5	11	7	10	12	4	0	9	1	20	14	8	1921

0-5% 6-11% 12-17% 18-23% 24-29%

Fonte: Agência Aguas Paraná

É importante frisar que os meses que concentram até 5% da pluviosidade anual, que são considerados meses secos, não necessariamente apresentam deficiência hídrica, isso vai depender de outros fatores como a evapotranspiração do cultivo da soja que indica sua demanda específica. Isso será detalhado mais adiante.

4 OBJETIVOS

4.1 GERAIS:

Analisar a variação na disponibilidade de água para o cultivo da soja na bacia do Tamanduá, considerando os parâmetros de campo.

4.2 ESPECÍFICOS:

- Definir os parâmetros que servirão de referência para a definição da disponibilidade de água como os valores máximo e mínimo de água necessários ao cultivo da soja na região.
- Elaborar o balanço hídrico climatológico para os períodos de 1960 a 2017, por meio do método de Thornthwaite utilizando-o como parâmetro para classificação climática.
- Elaborar o balanço hídrico mensal sequencial em que é construído o balanço hídrico de cada ano dos períodos considerados, ou seja, com esse esquema se objetiva acompanhar a variação mensal da disponibilidade de água ao longo dos períodos, relacionando sempre com a atividade agrícola.
- Elaborar cenários com base no calendário agrícola da região.

5. MATERIAIS E METODOLOGIA

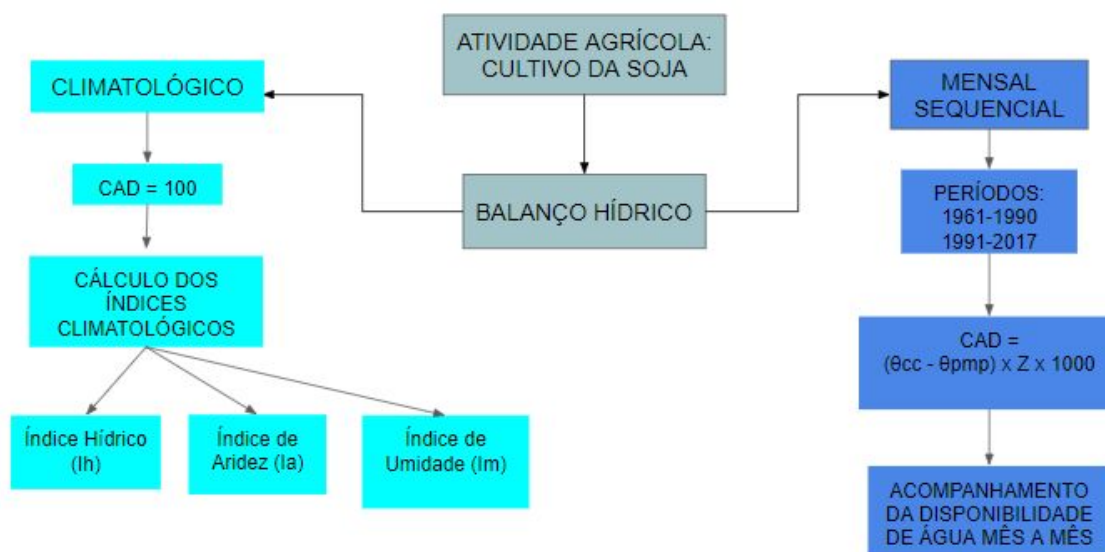
Para obter a disponibilidade de água para a soja é importante conhecer quantidade de água que se precipita no sistema, no caso o sistema é a bacia do Rio Tamanduá, e comparar com a quantidade de água que sai do sistema. Com a comparação da disponibilidade de água em períodos seguidos obtém-se a variabilidade na disponibilidade.

O balanço hídrico pelo método de Thornthwaite fornece um dado estimativo da disponibilidade de água para uma região com base na relação entre “dois elementos meteorológicos opostos: a chuva, que representa o ganho de umidade do solo e a evapotranspiração potencial, que representa a perda potencial de umidade do solo” (TARIFA, 1970).

É importante frisar o papel do solo como “caixa” que armazena a água, é nele onde estará depositada a água em períodos de estiagem e quanto mais água o solo puder armazenar, maior será a capacidade de um cultivo qualquer se manter turgesciente.

O método é baseado em uma fórmula empírica que exige apenas os dados de pluviosidade e temperatura, sendo esses os dados mais comuns fornecidos pela rede de estações climatológicas do Brasil. A metodologia (figura 7) inclui ainda a organização dos dados em tabela, que facilita o estabelecimento de relações entre os diferentes elementos considerados.

Figura 7: Fluxograma de metodologia



Fonte: Elaboração do autor

5.1 BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

Pode-se definir o balanço hídrico climatológico como “um sistema contábil, onde a precipitação pluvial representa o suprimento de água no solo pela atmosfera e a evapotranspiração potencial, a perda teórica da umidade no processo conjunto da evaporação e transpiração vegetal” (CAMARGO e CAMARGO, 1983). Para elaboração do balanço hídrico climatológico são necessárias as médias normais de temperatura e pluviosidade traçadas usando valores de, no mínimo, 30 anos.

Os dados utilizados para essa etapa foram encontrados junto ao Sistema de Geração e Disponibilização de Informações Climatológicas do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) que disponibiliza, dentre muitas informações, os dados da estação Salto Cataratas, localizada no Parque Nacional do Iguaçu, a montante das Cataratas do Iguaçu.

Com os dados de temperatura mensal normal, que representam a média de temperatura dos meses durante o período das normais climatológicas, é possível calcular a evapotranspiração potencial, conforme roteiro apresentado por Vianello & Alves (2000) e Pereira et al (2007), através da fórmula:

$$ETp = 16 \times \left(\frac{10 \times Tm}{I} \right)^a \quad (01)$$

Onde ETp é a evapotranspiração potencial mensal, Tm é a temperatura média mensal e “I” é um índice calculado através da seguinte fórmula:

$$I = \Sigma(0,2 \times Tm) \quad (02)$$

E “a” pode ser obtido através de I aplicando a seguinte fórmula:

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^{-3} - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1,7912 \times I + 0,49239 \quad (03)$$

Quando a média mensal é maior que 26°C (Tm > 26°C), o que é muito comum na região, sobretudo nos meses de verão, então a fórmula para calcular ETp é a seguinte:

$$ETp = -415,85 + 32,24 \times Tm - 0,43 \times 10^2 \quad (04)$$

Os índices climáticos propostos por Thornthwaite para classificar o clima de uma região são:

$$Im = 100 \times EXD - \frac{(60 \times DEF)}{EPp} \quad (06)$$

Onde “Im” é o Índice de Umidade e DEF é a deficiência anual.

$$Ia = 100 \times \frac{DEF}{EPp} \quad (07)$$

Onde “Ih” é o Índice Aridez; DEF é a deficiência, ou déficit anual.

$$Ih = 100 \times \frac{EXD}{EPp} \quad (08)$$

Onde “Ih” é o Índice Hídrico; EXD é o excedente hídrico anual e EPp é a evapotranspiração potencial anual, indicador da demanda hídrica.

Definiu-se o Armazenamento como 100 mm, que de acordo com Vianello & Alves, é o valor mais indicado para a construção do balanço hídrico climatológico. Deve-se considerar ainda nesse sentido que quando se trabalha com grandes períodos de tempo e/ou grandes extensões territoriais, a definição do armazenamento é um desafio considerando a grande variação temporal e espacial dos parâmetros necessários ao cálculo de um armazenamento mais preciso como o tipo de solo e seus teores de umidade e as características da vegetação que por sua vez define a profundidade efetiva de exploração das raízes.

5.2 BALANÇO HÍDRICO MENSAL SEQUENCIAL

Os procedimentos adotados diferem do anterior considerando que para tal se utiliza uma escala de abordagem temporal diferente para os mesmos períodos, considerando aqui o mensal. Considera-se também o cultivo da soja (*Glycine max*) como referência. Com isso, a evapotranspiração precisa ser corrigida considerando o Kc que é o Coeficiente de Cultura, um valor de correção baseado na evolução do dossel da planta e que interfere no seu consumo de água.

A evapotranspiração de cultivo pode ser obtida pela seguinte fórmula:

$$ETc = ETp \times Kc \quad (09)$$

Onde ET_c é a evapotranspiração de cultivo para o mês; K_c é Coeficiente de Cultura que varia de acordo com o desenvolvimento fenológico da planta. Esse coeficiente está associado ao índice de área foliar e à demanda de água da planta que, por sua vez, estão associados à evapotranspiração. Quanto maior o índice de área foliar, ou seja, quanto mais volumoso e abrangente o dossel da planta da soja, maior será o K_c e maior será a evapotranspiração. Os valores de K_c adotados estão relacionados na tabela 11.

Considera-se a soja em sistema rotativo com soja, ou seja, o ano agrícola inicia-se em Outubro, na semeadura da soja de verão, e vai até Março, época da colheita, seguida da soja de inverno de Abril a Setembro. Essa associação é pouco comum no Paraná e não é recomendada devido a vulnerabilidade do cultivo à pragas bem como o desgaste do solo. Esse é apenas um modelo teórico, idealizado para fins de estudo.

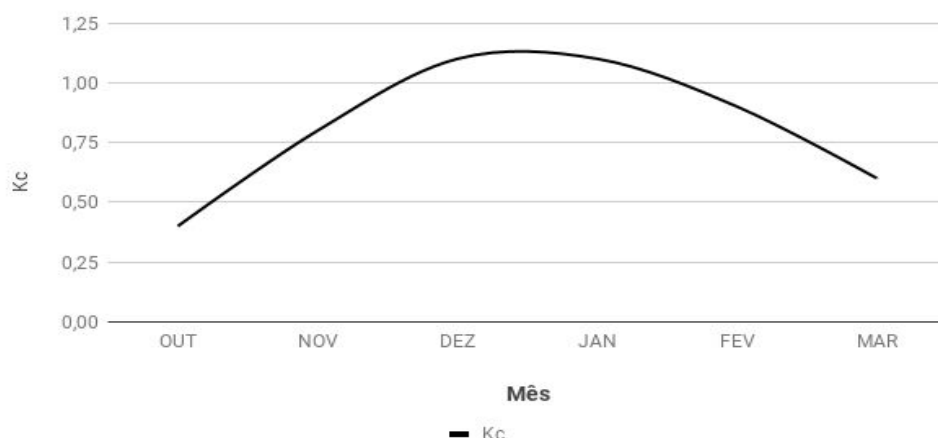
Observa-se no gráfico 7 que o K_c aumenta entre os meses de Outubro e Dezembro, no período vegetativo em que a planta está se desenvolvendo e quando há o aumento do dossel, após o auge ocorre a diminuição devido a perda de área foliar e consequentemente, a diminuição do K_c .

Tabela 11: Coeficientes de cultivo para a soja

Estágio Fenológico	Mês	K_c médio
Reprodutivo	Janeiro	1,1
	Fevereiro	0,9
Maturação	Março	0,6
Vegetativo	Abril	0,40
	Maio	0,8
	Junho	1,1
Reprodutivo	Julho	1,1
	Agosto	0,9
Maturação	Setembro	0,6
Vegetativo	Outubro	0,40
	Novembro	0,8
	Dezembro	1,1

Fonte: Adaptado de Pereira et al. (2007)

Gráfico 7: Evolução do Kc



Fonte: Elaborado pelo autor

Para dar prosseguimento na pesquisa é essencial estimar a capacidade de água disponível para as plantas, ou seja, a CAD que pode ser calculada pela metodologia sugerida por Frizzzone (2017), e metodologia similar adotada por Lacerda (2007):

$$DTA = 1000 \times (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \quad (09)$$

Onde: DTA é a disponibilidade Total de Água; θ_{cc} é o volume de água no solo na Capacidade de Campo; θ_{pmp} é o volume de água no solo no Ponto de Murcha Permanente. O resultado é obtido em mm/cm.

Em seguida para a obtenção da CAD basta aplicar a fórmula a seguir:

$$CAD = DTA \times Z \quad (10)$$

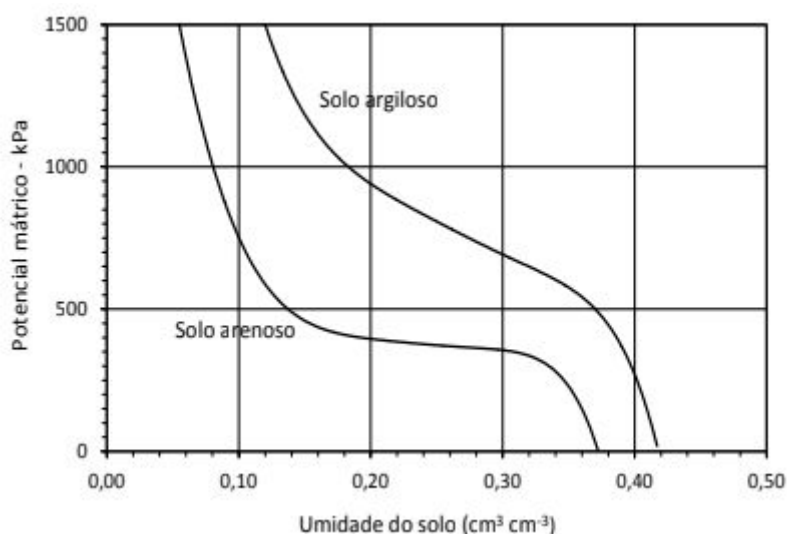
Onde CAD é a Capacidade de água disponível em mm/cm de solo, DTA é a Disponibilidade Total de Água e Z é a profundidade efetiva das raízes (é importante que esta esteja expressa em metros para que o resultado seja obtido em mm/cm) conforme os dados da tabela 9 (Item 2.2). É importante ressaltar que a disponibilidade de água varia com o estágio fenológico da soja, conforme varia a profundidade efetiva das raízes. Contudo, para a elaboração do balanço hídrico, não foi possível adotar CAD distinta para cada fase. Adotou-se, portanto, a profundidade máxima das raízes como única para o cálculo da CAD.

Definiu-se como limite mínimo de água o Ponto de Murcha Permanente (PMP), que é o teor de água no solo no qual as plantas não têm a capacidade de manter a turgescência, murchando para não mais se recuperar, sendo esse limite expresso em

atmosferas, o valor médio para a maioria dos solos é de 15 atm (FAO, 2005; ALBUQUERQUE, 2010).

Cada tipo de solo retém, a uma pressão de 15 atm, um volume diferente de água conforme ilustrado na figura 8, sendo que para solos argilosos, como é o caso da região estudada, os valores de θ_{cc} e θ_{pmp} podem ser adotados conforme valores orientativos os de 0,11 para o teor de umidade do solo no Ponto de Murcha permanente e 0,41 para a Capacidade de Campo (FRIZZONE, 2017).

Figura 8: Curva característica de retenção de água no solo



Fonte: Frizzzone, 2017

Para este trabalho houve a necessidade de se definir os parâmetros em milímetro (mm) a fim de comparar mais claramente com os dados obtidos pelo balanço hídrico, também expressos em mm. Para tal, os dados mencionados acima foram inseridos na fórmula:

$$PMP = (\theta_{pmp} \times Z) \times 1000 \quad (11)$$

Onde θ_{pmp} é a umidade, a base de volume, contida no solo no potencial mátrico de 15 atm, ou seja, quando a força necessária para que a raiz absorva a água no solo, que se dá por diferença de pressão, é equivalente à 15 atmosferas. Z é a profundidade do sistema radicular dada em metros.

$$CC = (\theta_{cc} \times Z) \times 1000 \quad (12)$$

Onde θ_{cc} é a umidade, a base de volume, contida no solo na capacidade de campo, ou seja, quando todos os poros do solo estão ocupados proporcionalmente por água e ar, tendo escorrido a água superficial e percolado a água gravitacional.

Os resultados estão relacionados na tabela abaixo.

Tabela 12: Limites ideais de disponibilidade de água para a soja

Limites	CAD (mm)	CC (mm)	PMP (mm)
Água disponível	120	164	44

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A tabela para a elaboração do Balanço Hídrico Sequencial é estruturada da seguinte forma:

- Coluna 2 - (T_m) Valores das temperaturas médias mensais.
- Coluna 3 - (ET_p) Valores da evapotranspiração mensal não corrigida.
- Coluna 4 - (Correção) Fatores de correção de acordo com a tabela 13

Tabela 13: Fatores de correção para 25° de latitude Sul.

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Correção	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18

Fonte: Pereira et al. (2007)

- Coluna 5 - (K_c) Coeficiente de cultura, dado pelo Índice de Área Foliar
- Coluna 6 - (EP_c) Evapotranspiração mensal corrigida de cultura, obtida pela multiplicação dos valores da coluna 3 pelos valores da coluna 4 e da coluna 5.
- Coluna 7 - (P) Valores da pluviosidade mensal.
- Coluna 8 - ($P-ET_p$) Valores obtidos da subtração da coluna 5 dos valores da coluna 6.
- Coluna 9 - (Neg-Acum) Valores negativos acumulados (só existe nesse método). Deve ser preenchida com os valores negativos de $P-ET_p$ quando houver. Inicia-se quando aparece um valor negativo após uma sequência de valores positivos, no primeiro mês em que aparecer um valor negativo em $P-ET_p$ o valor de Neg-Acum será igual a esse, se no mês seguinte houver outro valor de $P-ET_p$ negativo, soma-se esse com Neg-Acum do mês anterior e assim sucessivamente até aparecer um valor positivo de $P-ET_p$.
- Coluna 10 - (ARM) Coluna do Armazenamento de água no solo, preenchida concomitantemente com a coluna 8, o armazenamento de água no solo é igual a CAD quando Neg-Acum for igual a 0, nos meses em que Neg-Acum for menor que 0 ($Neg-Acum < 0$) então o valor do armazenamento será dada pela fórmula a seguir:

$$ARM = CAD \times e^{\left(\frac{Neg-Acum}{CAD}\right)} \quad (13)$$

Quando sobrevier um valor de P-ETp positivo após uma sequência de valores negativos o valor de ARM desse mês será dada pela soma de P-ETp do mês em questão ao valor do armazenamento do mês anterior, com esse valor obtém-se o valor de Neg-Acum do mês através da fórmula a seguir:

$$Neg - Acum = CAD \times \ln\left(\frac{ARM}{CAD}\right) \quad (14)$$

Isso se segue até que Neg-Acum volte a zero.

- Coluna 11 - (ALT) Valores de alteração no armazenamento entre o mês em questão e o mês anterior. Um detalhe muito importante quanto a essa coluna nosse método do Balanço Hídrico Sequencial é que “para se iniciar o seqüenciamento do balanço deve-se partir de um período em que o armazenamento seja pleno” (PEREIRA et al. 2007, p. 99). Ou seja, o período deve necessariamente iniciar de um mês em que se saiba que o armazenamento de água no solo seja total, ou seja, $ARM = CAD$.
- Coluna 12 - (ETr) Evapotranspiração real. A evapotranspiração real expressa a evapotranspiração que realmente ocorre, é determinada de acordo com a disponibilidade de água no solo, conforme essa diminui, e ETr também diminui, mesmo que a demanda da atmosfera seja maior. A ETr é igual a ETp nos meses em que o ARM é total e P-ETp é maior que zero, mesmo que o ARM não seja total. Nos meses em que P-ETp for menor que zero ($P-ETp < 0$) então a ETr será dada pela soma de P e a ALT do mês, o que pode ser expresso pela fórmula a seguir:

$$ETr = P + [ALT] \quad (15)$$

- Coluna 13 - (DEF) Valores de deficiência hídrica que é obtida pela subtração de ETr - ETp.
- Coluna 14 - (EXC) Coluna dos excedentes hídricos que só existe quando o armazenamento de água no solo for total e P-ETp for maior que zero, nesses casos o excedente pode ser obtido pela soma de P-ETp + ALT.

- Coluna 15 - (BH) É a síntese que contém os valores do balanço hídrico. Nela são plotados os valores de déficit como negativos e os de excedente como positivos.

Os dados e as análises foram conduzidas em planilhas eletrônicas, o que facilita e agiliza o trabalho.

6 RESULTADOS

6.1 CLIMA REGIONAL

O clima não é homogêneo em todo o globo. Sua classificação, ou seja, sua definição específica de acordo com as principais características pode ser feita de acordo com múltiplos critérios. Adotou-se para esse trabalho, conforme mencionado anteriormente (item 2.4 e item 5.1), a classificação de Thornthwaite, que utiliza a disponibilidade de água como critério para a classificação climática.

Com os dados obtidos pelo balanço hídrico climatológico foi possível definir o clima regional. Na tabela 14 estão relacionados os dados sintetizados do balanço hídrico climatológico para o primeiro período considerado (1961-1990).

Considerando os dados da soma de ETp, DEF e EXD, aplicando-os na fórmula 6, obtém-se o valor do Índice de Umidade que foi igual a 46,44, relacionando esse valor à tabela 4, encontra-se a nomenclatura B2, indicando um clima úmido.

Com a soma dos dados da coluna DEF e ETp aplicados à fórmula 7 obtém-se o Índice de Aridez cujo valor foi de 0,08, que quando relacionado aos dados da tabela 5, obtemos a subtipo “r”, indicando deficiências de água pequenas ou nula.

Tabela 14: Extrato do Balanço Hídrico Climatológico 1961-1990

Estação Salto Cataratas, Coordenadas: Latitude - 25° 40' 59", Longitude - 54° 25' 59", Altitude: 152m; CAD = 100

Mês	ETp	P	ARM	EPr	DEF	EXD
Jan	165	166	100	165	0	1
Fev	143	146	100	143	0	3
Mar	138	127	89	138	1	0
Abr	80	135	100	80	0	44
Mai	53	147	100	53	0	94
Jun	37	123	100	37	0	86
Jul	40	104	100	40	0	64
Ago	56	116	100	56	0	60
Set	65	135	100	65	0	70
Out	103	174	100	103	0	71
Nov	129	156	100	129	0	27
Dez	152	155	100	152	0	3
SOMA	1161	-	-	-	1	540

Fonte: Elaborada pelo autor

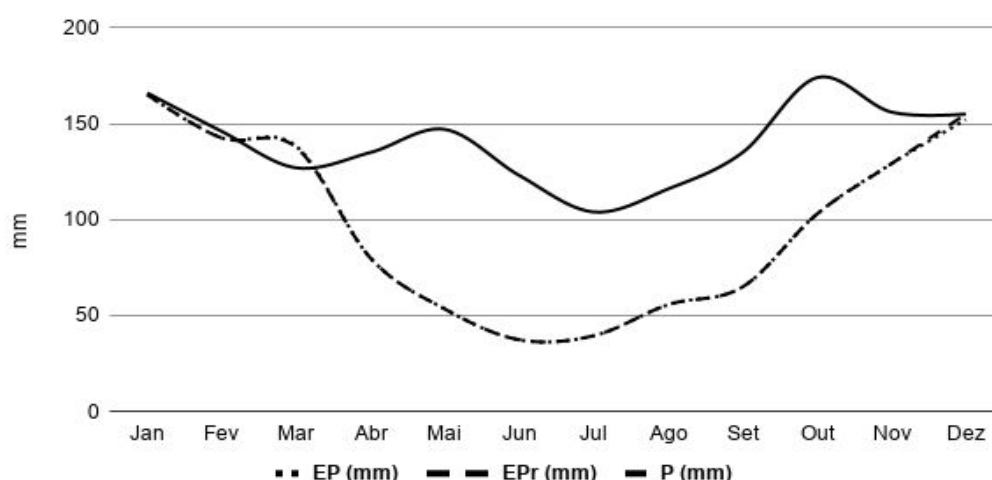
Inserindo os dados da soma de ETp e EXD na fórmula 8, obtém-se o Índice Hídrico cujo valor foi 46,49. relacionando esse valor à tabela 6, determina-se a subtipo 2 é w2, pois o índice foi maior que 20 e devido ao fato de os valores de excedente hídrico estarem concentrados do inverno.

Considera-se também a soma da ETp em si só como um parâmetro para a classificação cujo valor obtido foi de 1161 mm. Relacionando com a tabela 7 determina-se a subtipo A', que indica um clima Megatérmico, ou seja, com altas taxas de evapotranspiração potencial. Considerando ainda a evapotranspiração potencial acumulada nos meses de verão (EPV), é possível subdividir mais uma vez o clima. O valor da soma da evapotranspiração potencial dos meses de Jan, Fev e Dez relacionando com a tabela 8, obtém-se 39%, obtemos o subtipo a', indicando uma concentração baixa da evapotranspiração nesses meses de verão.

Em síntese, o clima regional para o período de 1961-1990 é: B2 r w2 A' a'.

Ao analisar o gráfico 8 percebe-se a contraposição das duas grandezas que atuação para a caracterização do clima, a pluviosidade, como entrada de água, e a evapotranspiração potencial, como saída, devido a demanda da atmosfera. Contudo, nem sempre a evapotranspiração potencial corresponde ao que de fato foi evapotranspirado, a partir do momento em que a pluviosidade foi menor que a evapotranspiração, como ocorreu no mês de Março, não houve a possibilidade de o ambiente atender a demanda atmosférica por água, indicando um déficit sutil de água.

Gráfico 8: Balanço hídrico 1961-1990



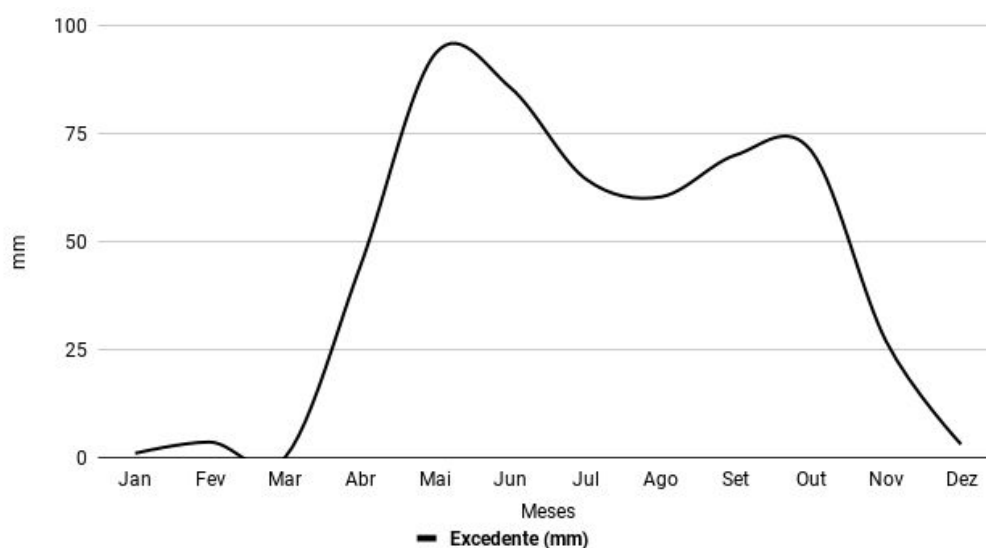
Fonte: Elaborado pelo autor

Quando isso ocorre a evapotranspiração não alcança todo o seu potencial, passando a ser denominada de evapotranspiração real, que é aquela que realmente ocorre dada a disponibilidade de água para um momento específico. No gráfico 8, a

deficiência é tão incipiente que não pode ser observada, mas ela ocorre quando a evapotranspiração real é menor que a potencial que aparecem sobrepostas.

O gráfico 9 demonstra a variação dos excedentes para o primeiro período, nota-se que, assim como estabelecido na classificação climática, esses excedentes são bastante expressivos, atingindo marcas próximas a 100 mm. Observa-se também que esses excedentes estão concentrados nos meses do final do Outono: Abril e Maio, do Inverno: Junho, Julho e Agosto e início da Primavera: Setembro e Outubro.

Gráfico 9: Variação dos excedentes 1961-1997



Fonte: Elaborado pelo autor

Algo que é importante frisar é que o mês mais chuvoso para esse período, conforme apontado no item 3.2.3, é Outubro, mas não foi o mês com maior excedente, isso porque a evaporação também foi expressiva, acarretando em uma maior demanda da atmosfera.

Na tabela 15 constam os valores obtidos para o balanço hídrico climatológico para o segundo período considerado (1991-2017)

Para esse período o Índice de Umidade foi de 59. O sensível aumento do índice tem ligação com o aumento da média de 86 mm na média de pluviosidade, conforme exposto no Item 3.2.2, juntamente com a queda na evapotranspiração anual que foi também menor verificando-se uma queda de 91 mm na evapotranspiração anual em relação ao período anterior, o que acarreta maiores excedentes de água.

O Índice de Aridez para esse período foi igual a 0, indicando um clima onde as deficiências são quase nulas, não se pode acreditar que as deficiências são inexistentes, pois elas ocorrem e podem ser mensuradas conforme detalhado no Item (6.3). Vale ressaltar que os valores de pluviosidade apresentados acima são médias, extraídas da soma dos acumulados mensais, divididos pelo total de observações.

O Índice Hídrico foi igual a 59, igual ao Índice de Umidade, isso porque o cálculo para estimar o Im leva em conta as deficiências, como não foram verificadas deficiências em nenhum mês, esse fator se iguala a 0 no cálculo, o que leva ao mesmo resultado da equação do Ih.

Tabela 15: Extrato do Balanço Hídrico Climatológico 1991-2017

Estação Salto Cataratas, Coordenadas: Latitude - 25° 40' 59", Longitude - 54° 25' 59", Altitude: 152m; CAD = 100

Mês	ETp	P	ARM	EPr	DEF	EXD
Jan	154	143	89	154	0	0
Fev	118	130	100	118	0	1
Mar	111	118	100	111	0	7
Abr	82	133	100	82	0	51
Mai	50	169	100	50	0	119
Jun	40	143	100	40	0	103
Jul	37	101	100	37	0	64
Ago	59	81	100	59	0	22
Set	68	133	100	68	0	65
Out	94	211	100	94	0	117
Nov	118	152	100	118	0	34
Dez	138	191	100	138	0	53
SOMA	1070	-	-	-	0	635

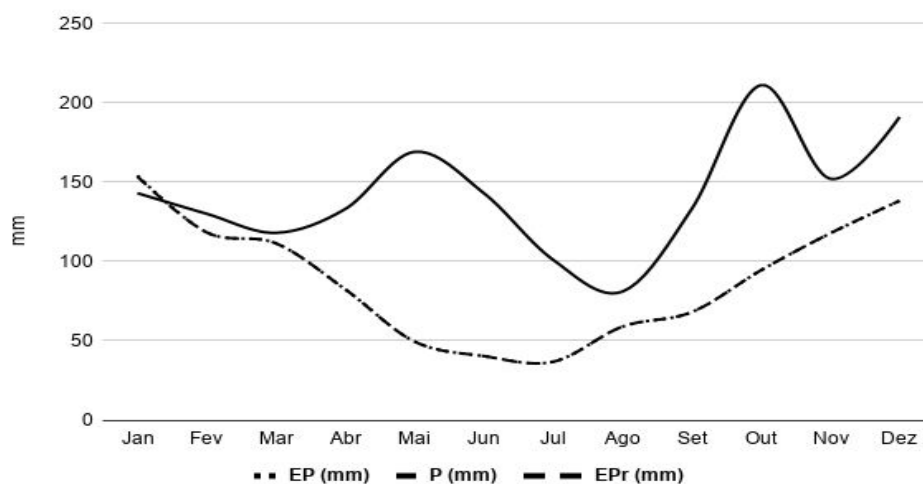
Fonte: Elaborado pelo autor.

A soma da Evapotranspiração anual foi igual a 1070 mm, 91 a menos que o período anterior, considerando que a evapotranspiração é uma relação direta das temperaturas, pode-se associar a diminuição de um em função da diminuição do outro. A Evapotranspiração Acumulada no verão igual a 38%, apenas 1% a menos que o período anterior, indicando que a evapotranspiração não é tão concentrada no verão.

Em síntese, o clima regional para 1991-2016 pode ser classificado como: B2 r w2 B'4 a'.

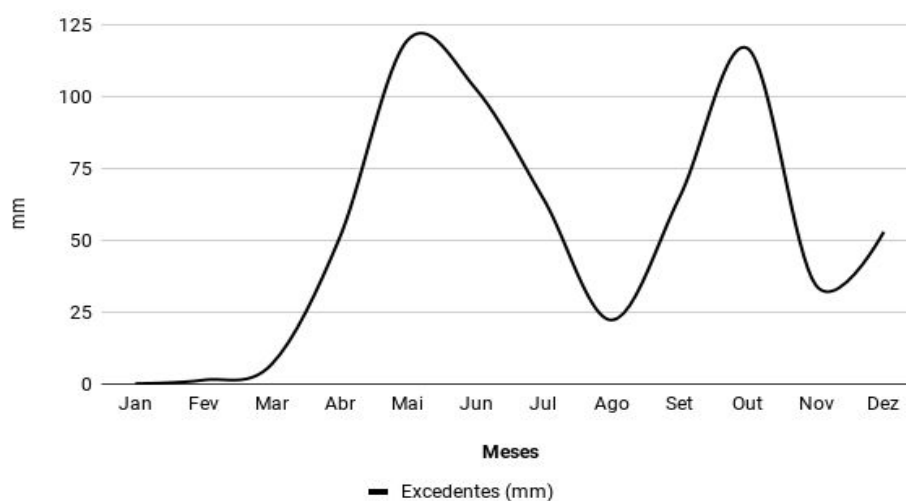
Para esse período observa-se que uma deficiência bastante incipiente no mês de Janeiro pois a evapotranspiração potencial foi maior que a precipitação média para o mesmo mês. Assim como no período anterior, a evapotranspiração potencial foi igual a evapotranspiração real em quase todos os meses.

Gráfico 10: Balanço Hídrico 1991-2017



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 11: Variação dos Excedentes 1991-2017



Fonte: Elaborado pelo autor

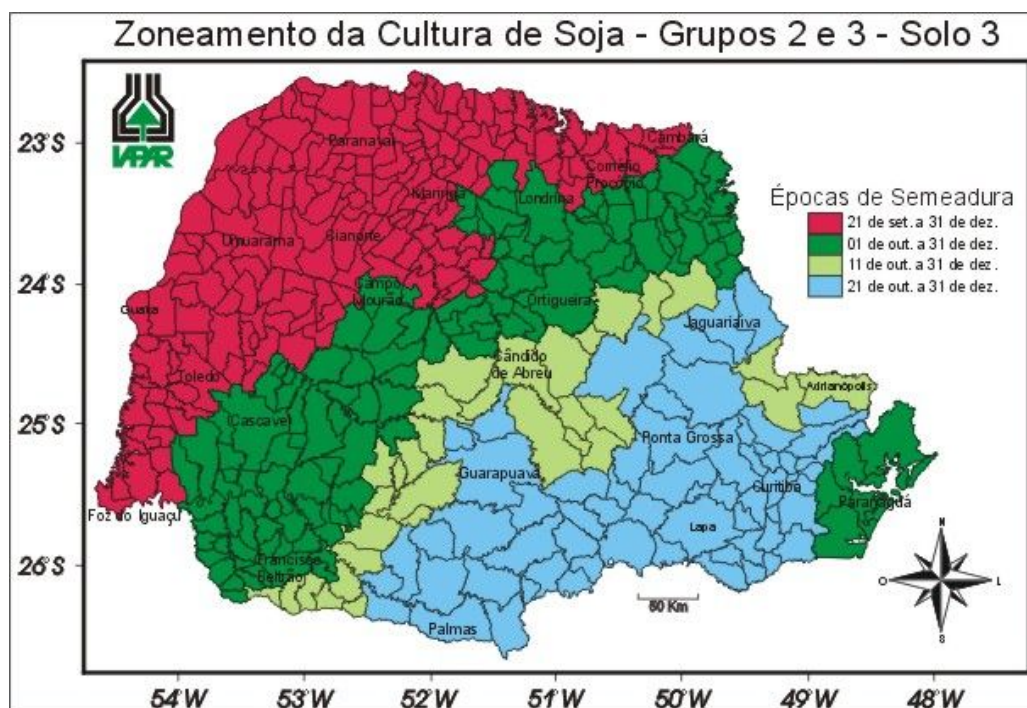
No gráfico 11 está representada a variação dos excedentes para o período de 1961-1990. Percebe-se que, assim como no período anterior, os meses de do final do Outono e início do Inverno são os que concentram os maiores valores de excedentes, sendo os mais expressivos para os meses de Maio e Junho, quando os valores atingiram quase 125 mm. Destaca-se também o mês de Outubro, o mais chuvoso, apresentou excedentes expressivos.

6.2 COMPARAÇÃO COM O CALENDÁRIO AGRÍCOLA DA REGIÃO

O zoneamento agrícola estabelecido pelo IAPAR é baseado nos parâmetros preconizados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, na PORTARIA Nº 152, DE 20 DE JULHO DE 2018. Esse zoneamento utiliza um método de balanço

hídrico detalhado considerando tipos de solo diferentes. Na região da bacia, entre Foz do Iguaçu e Santa Terezinha, predominam solos de textura argilosa, conforme figura 3 (item 3.1). Os solos de tipo 3 são os solos argilosos com teor de argila superior ou igual a 35% conforme estabelecido pela INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 2, DE 9 DE OUTUBRO DE 2008, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Os grupos 2 e 3 são referência aos grupos de cultivares de Soja discriminados de acordo com o número de dias até a maturação, para este trabalho utiliza-se como referência os dados relacionados na tabela 2 (Item 2).

Figura 8: Zoneamento Agrícola da Soja Para a Região



Fonte: IAPAR (2018)

Os dados obtidos por meio do balanço hídrico climatológico foram relacionados com quatro calendários possíveis, configurando cenários distintos, partindo da época de semeadura proposta pelo IAPAR, entre final de setembro até dezembro, e os dados relacionados na tabela 2 (Item 2). Cada cenário é apenas uma alteração de aproximadamente um mês na data da semeadura e conseqüentemente o atraso de um mês em todos os estágios fenológicos, o mesmo se repete para a soja de inverno. Os dados apresentados são uma modelagem, idealizada com base em dados médios e estimativas, é importante frisar que em campo a realidade pode mudar drasticamente com a variedade da cultivar, das técnicas de manejo ou mesmo das condições naturais.

Figura 9: Disponibilidade de água para a soja em 4 cenários de plantio.

Período	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Calendário 1	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7
Calendário 2	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5
Calendário 3	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V
Calendário 4	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S
1961-1990	101	103	89	144	194	186	164	160	170	171	127	103
1991-2017	89	101	107	151	219	203	164	122	165	217	134	153

PMP	Disponibilidade de água abaixo do Ponto de Murcha
Ideal	Disponibilidade em nível ideal
CC	Disponibilidade de água acima da Capacidade de campo
S	Semeadura
V	Estágio Vegetativo
R1-R5	Estágio reprodutivo R1 a R5
R5-R7	Estágio Reprodutivo R5 a R7 (enchimento de grão)
M	Madureza
C	Colheita

Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando um plantio da soja de verão em Setembro, a semeadura, a emergência e o estágio vegetativo enfrentam excedentes de água pois a disponibilidade de água para essa faixa de tempo esteve, em ambos os períodos analisados, acima da Capacidade de Campo. A safra, no entanto, deve atingir o período de estágio reprodutivo e de enchimento de grãos em período ideal para o desenvolvimento das vagens. Considerando a safra de inverno, com semeadura em Março, a probabilidade de grandes excedentes durante o estágio R5-R7 de enchimento de grãos é alta, podendo acarretar sérios riscos à produtividade devido às sensibilidades da planta às variações na disponibilidade de água e sobretudo com os excedentes (Item 2.2.2).

Para o início da cultura em Outubro a probabilidade de a semeadura e emergência da planta enfrentar grandes excedentes é alta. Porém todo o desenvolvimento daí em diante terá grande probabilidade de ter disponibilidade ideal de água. Para a safra de inverno com semeadura em Abril, apenas o período de maturação teria seu desenvolvimento em período ideal.

Para semeadura em Novembro, todo o ciclo da soja de verão teria seu desenvolvimento dentro de uma janela com grande probabilidade de disponibilidade ideal de água. Para a safra de inverno apenas o período de enchimento de grãos teria seu desenvolvimento com a disponibilidade ideal de água.

Para semeadura da safra de verão no mês de Dezembro, a probabilidade de desenvolvimento da cultura se dar com disponibilidade ideal de água é grande até período da colheita quando deve enfrentar grandes excedentes, o que pode prejudicar na operação da colheita e na qualidade do grão colhido e armazenado. Para a safra de

inverno apenas o período R1-R5 e a colheita se teriam a probabilidade de se desenvolver com disponibilidade ideal de água.

6.3 VARIABILIDADE MENSAL NA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

Conforme detalhado na metodologia, foi elaborado o Balanço Hídrico mensal sequencial conforme parâmetros descritos no item 5.2, considerando os mesmos dois períodos, mas agora em uma escala de tempo diferente, mais detalhada, dado o objetivo de acompanhar a disponibilidade de água para o cultivo da soja na bacia do Rio Tamanduá.

Analisando a figura 10 nota-se que estão plotados os valores de disponibilidade de água em cada quadro, nas colunas estão relacionados os meses com os anos em linhas. O calendário não é oficial e foi estabelecido com base nos dados da tabela 2 (Item 2), considerando o sistema de cultivo soja de inverno e verão.

Para o primeiro período 1961-1990 observa-se um total de 30 meses onde a disponibilidade de água esteve abaixo do Ponto de Murcha permanente estimado para a soja, ou seja, meses em que o valor do armazenamento de água no solo foi menor ou igual a 44 mm ($ARM \leq 44$ mm). O mês com maior número de ocorrências de $ARM \leq 44$ mm foi Janeiro com 12 ocorrências, seguido de Fevereiro com 7 e em seguida dezembro com 6, nota-se que são os meses de Verão.

O mais preocupante, no entanto, foi a numerosa ocorrência de excedentes hídricos, mais prejudiciais ao cultivo da soja que a própria deficiência (item 2.2.2). Foram computadas 177 meses em que a disponibilidade de água esteve acima da Capacidade de Campo (164 mm), ou seja, quando a quantidade de água disponível ultrapassa a capacidade do solo de reter água, formando então os excedentes, que prejudicam a planta e o solo com a lavagem dos nutrientes, afogamento e saturação do solo.

O mês que mais apresentou excedentes foi Outubro, sendo 27 ocorrências ao longo do período, seguido de Setembro e Abril, com 20 ocorrências cada. Nota-se que os dados corroboram, em grande parte, com a análise do balanço hídrico climatológico.

Quanto ao calendário, relacionado aos dados de disponibilidade de água, é possível acompanhar quando, aproximadamente, ocorrem as deficiências e os excedentes em relação ao estágio fenológico da planta. Os períodos mais críticos são os de Semeadura e estabelecimento da cultura e R5-R7, período de enchimento de grãos quando a sensibilidade da planta da soja à grandes excessos de água e deficiências pode prejudicar o desenvolvimento da lavoura.

Figura 10: Síntese da variação na disponibilidade de água para soja 1961-199

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Calendário 1	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7
Calendário 2	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5
Calendário 3	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V
Calendário 4	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S
1961	31	20	181	223	139	198	120	123	227	357	193	63
1962	149	324	128	193	174	123	175	147	226	306	246	29
1963	81	49	123	179	303	186	98	82	184	289	334	145
1964	37	64	257	292	109	142	187	330	251	193	154	67
1965	33	288	177	286	267	119	141	199	282	238	74	119
1966	37	69	63	49	52	236	153	116	131	197	55	28
1967	74	37	145	101	100	128	161	124	92	113	61	15
1968	17	11	10	149	134	140	131	111	236	298	65	180
1969	205	94	211	294	324	271	109	97	269	204	195	93
1970	57	38	64	55	78	174	210	129	302	271	92	71
1971	85	192	218	143	212	323	213	189	167	238	135	104
1972	70	76	63	129	131	113	229	325	332	204	211	74
1973	205	147	185	312	434	246	226	288	245	441	244	178
1974	110	126	111	195	261	348	138	389	147	347	299	216
1975	78	114	135	213	171	229	177	201	384	306	214	334
1976	200	109	358	232	205	194	196	219	210	287	179	84
1977	182	103	182	135	134	166	94	179	117	204	233	66
1978	20	9	7	5	5	119	309	166	213	209	176	64
1979	17	151	125	256	382	118	132	190	299	223	158	351
1980	249	82	84	94	310	141	126	178	245	269	117	57
1981	37	20	19	187	95	162	85	55	112	207	123	297
1982	37	83	87	106	135	232	350	191	116	235	535	47
1983	54	89	216	391	416	276	494	84	278	332	324	33
1984	21	13	65	223	106	253	117	222	159	161	203	96
1985	32	94	130	227	182	161	198	150	120	212	71	16
1986	41	209	232	173	412	110	137	187	252	213	116	162
1987	94	204	89	319	342	131	168	116	94	349	209	168
1988	56	88	56	202	254	222	95	62	47	208	77	28
1989	105	146	129	197	142	234	153	321	262	303	94	58
1990	287	85	111	361	316	359	220	391	422	190	103	77
PMP	Disponib. abaixo do Ponto de Murcha							R1-R5	Estágio reprodutivo R1 a R5			
Ideal	Disponib. em nível ideal							R5-R7	Estágio Reprodutivo R5 a R7			
CC	Disponib. acima da Capacidade de Campo							M	Maturação			
S	Semeadura							C	Colheita			
V	Estágio Vegetativo											

Fonte: Elaborado pelo autor

No período de sementeira e estabelecimento da planta, os excedentes prejudicam na formação da planta, afogando-a, pois o excesso de água ocupa os poros que deveriam estar ocupados com ar, essencial para a planta. As deficiências por outro lado, impedem o pleno desenvolvimento, posto que é pela solução dos nutrientes em água que se dá a transferência dos nutrientes do solo para a planta.

No período do enchimento de grãos, os excedentes podem prejudicar da mesma forma com o afogamento da planta e sobretudo com a lixiviação, processo em que o escoamento superficial “lava” os nutrientes do solo, sobretudo sais.

Figura 11: Síntese da variação na disponibilidade de água para a soja 1991-2017

Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Calendário 1	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7
Calendário 2	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5
Calendário 3	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V
Calendário 4	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S	V	R1-R5	R5-R7	M	C	S
1991	124	47	41	148	147	362	104	106	158	158	171	206
1992	29	154	242	274	447	197	247	248	200	251	168	56
1993	88	151	210	103	281	307	233	99	281	258	205	107
1994	35	186	110	196	285	329	140	98	165	265	413	187
1995	101	112	241	233	100	98	91	70	195	297	67	36
1996	35	106	227	193	177	194	159	84	187	717	182	493
1997	88	118	94	143	445	354	157	233	286	281	361	79
1998	39	188	334	382	235	164	107	364	314	354	73	64
1999	83	123	121	220	223	256	192	96	108	112	99	142
2000	182	214	110	219	243	254	154	193	223	292	156	160
2001	122	278	129	238	155	202	165	102	194	195	186	157
2002	265	78	63	62	350	150	152	158	203	373	344	250
2003	64	115	126	222	111	130	130	137	271	401	141	418
2004	30	18	16	108	435	141	233	93	92	300	208	44
2005	47	18	12	98	377	246	165	108	312	488	74	31
2006	65	46	198	170	97	138	90	130	269	251	268	198
2007	113	110	104	303	271	100	160	99	75	158	229	133
2008	135	111	86	327	174	290	140	254	237	373	145	53
2009	108	158	100	145	400	195	251	250	343	490	220	190
2010	123	152	312	233	178	133	208	101	169	313	112	285
2011	69	83	95	192	94	144	293	266	240	366	179	50
2012	33	16	16	231	182	233	223	71	69	292	102	111
2013	115	174	214	163	281	316	130	143	218	255	169	76
2014	95	69	291	324	313	513	283	89	240	140	162	206
2015	72	84	119	202	293	172	326	93	143	184	330	342
2016	108	168	302	146	238	127	136	243	128	275	131	204
2017	61	166	175	288	291	145	85	192	83	441	310	116
	PMP	Disponib. abaixo do Ponto de Murcha					R1-R5	Estágio reprodutivo R1 a R5				
	Ideal	Disponib. em nível ideal					R5-R7	Estágio Reprodutivo R5 a R7				
	CC	Disponib. acima da Capacidade de Campo					M	Maturação				
	S	Semeadura					C	Colheita				
	V	Estágio Vegetativo										

Fonte: Elaborado pelo autor

As deficiências de água são extremamente prejudiciais nesse período pois é o momento em que a demanda por nutrientes é voltada para o grão, na falta de nutrientes, que lembrando, são dissolvidos do solo pela água, o grão se desenvolve pouco, afetando a rentabilidade da lavoura, em casos graves pode levar ao abortamento do grão ou mesmo a murcha da planta de forma irrecuperável.

Para o período de 1991-2017 (figura 11) observa-se que 15 meses apresentaram disponibilidade de água abaixo do PMP, dos quais 6 ocorreram nos meses de Janeiro. Fevereiro e Março tiveram 3 ocorrências cada e Dezembro apenas duas. Nota-se que os anos de 2004 e 2012, nos meses de verão, houve acentuada deficiência hídrica.

Os meses com excedente totalizaram 166 ocorrências, sendo o mês de Outubro o que mais apresentou casos de excedentes acentuados seguido do mês de Maio

Setembro e Abril. Destaca-se que são os meses de outono e primavera os que mais apresentaram excedentes, os meses de inverno apresentaram, via de regra, disponibilidade de água dentro do ideal para a soja, com exceção do mês de Junho, em que na maioria das ocorrências apresentou excedentes.

Os resultados obtidos estão em consonância com os obtidos por meio do balanço hídrico climatológico, que indicaram que os meses de Outubro e Maio seriam os com maior acúmulo de excedente.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de demonstrar a variabilidade na disponibilidade de água para o cultivo da soja (*Glycine max*) para a bacia do Tamandará, considerando as condições de campo como solo, técnicas de manejo mais utilizadas, dados mensais de pluviosidade e temperatura e prováveis épocas de semeadura. Por mais detalhado que pudesse ser elaborado, o trabalho apresenta algumas debilidades como por exemplo os dados climatológicos que são fornecidos por apenas uma estação e não uma rede de estações, e a mesma está localizada fora da área de estudo. Os dados de pluviosidade podem ser sensivelmente diferentes na área da bacia da mesma forma os dados de temperatura, posto que são elementos do clima que possuem grande variabilidade espacial.

Outra limitação encontrada foi na definição dos parâmetros Capacidade e Água Disponível, Ponto de Murcha Permanente e Capacidade de Campo, que variam ao longo da safra pois são definidos de acordo com a profundidade das raízes, que ficam mais profundas ao longo do crescimento da planta. O método de elaboração do balanço hídrico não permitiu incorporar a variação desses parâmetros, de forma que houve a necessidade de se considerar os valores apontados que são referentes à profundidade máxima das raízes da soja.

É importante deixar claro que os dados apresentados foram obtidos por meio de valores médios, os parâmetros foram definidos conforme dados aproximados da realidade ou orientativos.

Em síntese, a região apresentou uma grande variabilidade na disponibilidade de água ao longo dos períodos estudados. O balanço hídrico climatológico apontou que a região no período de 1961-1990 tinha clima úmido com excedentes expressivos no inverno, deficiência pequena ou nula, megatérmico com evapotranspiração relativamente bem distribuída ao longo do ano. O segundo período apresentou sutil

mudança para mesotérmico, devido uma diminuição nas taxas de evapotranspiração relacionadas à uma pequena queda nas médias de temperatura.

Os resultados do balanço hídrico mensal sequencial apontaram que a região apresenta períodos sucessivos de deficiência hídrica comumente nos meses de verão, e excedentes hídricos bastante expressivos nos meses de inverno sendo que as ocorrências de excedentes são muito mais comuns e frequentes do que as deficiências.

Observou-se, ao relacionar os resultados com quatro cenários que o plantio da soja tem maior probabilidade de sucesso quando semeada em Novembro, pois os meses que se seguem apresentam, historicamente, disponibilidade de água média dentro dos parâmetros ideais para a soja nos dois períodos analisados.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Paulo E. Pereira. **Estratégias de manejo de irrigação: exemplos de cálculo**. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2010.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema de plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2016.

CALEGARI, A; FRIGO, E. P; EXKERT, C. T; ZANON, E; DUARTE, F. M; MARI JUNIOR, A. **Caracterização, uso e ocupação do solo na bacia do rio Tamandúá**. Cascavel: Cultivando o Saber, v.6 p.72-84, 2013.

CÂMARA, G. M. S. **Introdução ao agronegócio da soja**. Piracicaba: ESALQ, 2015.

CAMARGO, A. P; CAMARGO, M. B. **Tese de uma equação simples para estimativa da evapotranspiração potencial baseada na radiação solar extraterrestre e na temperatura do ar**. In **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 3. Campinas. Anais. CampiNas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia., 1983, p.229-244.

CARAMORI, P. H; WERNER, S. S; RICCE, W. S; NITSCHKE, P. R; VIEIRA, S. R. Clima no entorno do reservatório de Itaipu. In: ZANÃO JUNIOR, L. A; FARIA, R. T;

CARAMORI, R. H. **Produtividade da soja no entorno do reservatório de Itaipu.** Londrina: IAPAR, 2015.

CAZAROTTO, Simone.; PEREIRA, Wellington. **As cooperativas de produção agroindustrial no Paraná e o Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul (BRDE) como seu agente indutor de desenvolvimento.** Curitiba, Revista Paranaense de Desenvolvimento, n.122, p.177-200, 2012.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira.** Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>> Acesso em: 19 de novembro de 2018.

CONTI, José Bueno. **Clima e meio ambiente.** São Paulo: Atual, 2011.

DALL'AGNOL, A.; ROESSING, A. C.; LAZZAROTO, J. J.; HIRAKURI, M. H.; OLIVEIRA, A. B. **O complexo Agroindustrial da soja brasileira.** Londrina: Embrapa Soja, 2007.

DEREAL. Departamento de Economia Rural. **Soja, análise da conjuntura.** 2018 Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2018/Soja_2017_18.pdf> Acesso em 26/06/2018

ELY, D. F; ALMEIDA, I. R; SANT'ANNA NETO, J. L. **Variabilidade climática e o rendimento da cultura do milho no estado do Paraná: Algumas implicações políticas e econômicas.** Geografia, v.12, p.445-508, 2003.

EMBRAPA SOJA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil 2009 e 2010.** Londrina: EMBRAPA SOJA, 2008.

EMBRAPA SOJA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja em números (safra 2017/2018).** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>> Acesso em: 13 de dezembro de 2018.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. **El cultivo de la soja en los tropicos, mejoramiento y producción**. Roma, FAO, 1995.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. **Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal**. Roma, FAO, 2005.

FARIA, R. T; CASÃO JR., R; WERNER, S. S; TORRES, E; ZANÃO JR., L. A. Produtividade de soja em transectos. In: ZANÃO JUNIOR, L. A; FARIA, R. T; CARAMORI, R. H. **Produtividade da soja no entorno do reservatório de Itaipu**. Londrina: IAPAR, 2015.

FARIAS, J. R. B; NEPOMUCENO, A. L; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: EMBRAPA, 2007.

FARIAS, J. R. B; NEUMAIER, N; NEPOMUCENO, A. L. Soja. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (org). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, 2009.

FERREIRA, L. G. B. **Disponibilidade hídrica e produtividade de soja no oeste do Paraná**. Londrina: Dissertação de Mestrado, IAPAR, 2017.

FIETZ, Carlos Ricardo; RANGEL, Marco Antônio Sedrez. **Efeito da deficiência hídrica e do fotoperíodo no rendimento de grãos da soja semeadas na região de Dourados, MS**. Dourados, EMBRAPA, 2004.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa, 2009.

FRIZZONE, José Antônio. **Necessidade de água para irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2017.

GRUPO PLANTIO DIRETO. **Guia para plantio direto**. Monsanto, 2000.

HIRAKURI, M. H. **Impactos econômicos de estresses bióticos e abióticos na produção e soja**. Londrina: Embrapa, 2014.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina, Embrapa Soja, 2014.

IAPAR, Instituto Agrônomo do Paraná. **Zoneamento Agrícola**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1576>> Acesso em: 30 de Outubro de 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PIB cresce 0,8% e chega a R\$ 1,716 trilhão no 3º tri de 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/23251-pib-cresce-0-8-e-chega-a-r-1-716-trilhao-no-3-tri-de-2018>> Acesso em: 13 de dezembro de 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados>> Acesso em: 19 de dezembro de 2018.

LACERDA, Claudivan Feitosa. **Relações solo-água-planta em regiões naturais e agrícolas do Nordeste brasileiro**. Recife: UFRP, 2007.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MAACK, REINHARD. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Ponta Grossa: UEPG, 2012.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **PORTARIA Nº 152, DE 20 DE JULHO DE 2018**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuaria/portarias/safra-vigente/parana>> Acesso em: 30 de Outubro de 2018.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 2, DE 9 DE OUTUBRO DE 2008.** Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/portarias>> Acesso em : 30 de Outubro de 2018.

MERTEN, G. H; ARAÚJO, A. G. Fundamentos teóricos do processo erosivo. In MERTEN, G. H; ARAÚJO, A. G; BARBOSA, G. M. C. **Erosão no estado do Paraná.** Londrina: IAPAR, 2016. p. 27-34.

MEURER, Egon j. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, C. L. **Fertilidade do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

MOREIRA, F. M. S; LIMA, A. S; JESUS, E. C; SILVA, K; NÓBREGA, R. S. A; FLORENTINO, L. A. Bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico que nodulam leguminosas. In: MOREIRA, F. M. S; CARES, J. E; ZANETTI, R; STÜRMER, S. L. **O ecossistema solo.** Lavras: Ed. UFLA, 2013. p. 327-340.

MOTA, Fernando. S. **Meteorologia agrícola.** São Paulo: Nobel, 1979.

OBSERVATÓRIO TERRITORIAL, **Oeste do Paraná em números.** Disponível em: <http://www.oesteemdesenvolvimento.com.br/src/pagina_arquivo/15.pdf> Acesso em: 11 de dezembro de 2018.

OLIVEIRA, JOÃO B. **Pedologia Aplicada.** Piracicaba: FEALQ, 2011.

PALHARES, José Mauro. **Paraná, aspectos da geografia.** Foz do Iguaçu: GRASMIL, 2007

PEREIRA, A. R; ANGELOCCI, L. R; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia agrícola.** Piracicaba: ESALQ, 2007.

PARANÁ, secretaria da agricultura e do abastecimento. **PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA.** 2018: Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=137>> Acesso em: 22 de julho de 2018.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Fungos Micorrízicos. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. **O ecossistema solo**. Lavras: Ed. UFLA, 2013. p. 291-310.

TARIFA, José Roberto. **Sucessão de tipos de tempo e variação do balanço hídrico no extremo oeste paulista**. São Paulo: USP, 1973.

TARIFA, José Roberto. **Estudo preliminar das possibilidades agrícolas da região de Presidente Prudente, segundo balanço hídrico de Thornthwaite (1948-1945)**. Boletim Geográfico IBGE, n.271, p.34-53, 1970.

VIANELLO, Rubens Leite; ALVES, Adil Raineir. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 2000.

ZAVATTINI, João Afonso; BOIN, Marcos Norberto. **Climatologia geográfica: teoria e prática de pesquisa**. Campinas: Alínea, 2013.